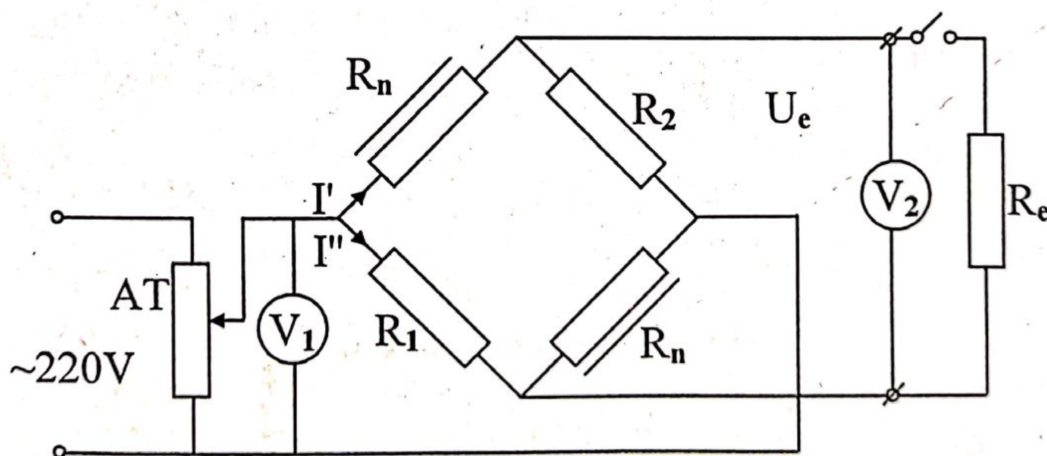
AURELIAN ȚÎRCĂ

CRISTINEL POPESCU

ELECTROTEHNICĂ

- ÎNDRUMAR DE LABORATOR -



EDITURA „ACADEMICA BRÂNCUŞI"
TÂRGU JIU, 2008

Prefaţă

Laboratorul de Electrotehnică, destinat lucrărilor practice la disciplina Electrotehnică predată la Facultatea de Inginerie a universităţii „Constantin Brâncuşi", specializările: Automatică şi Informatică Industrială, Energetică Industrială, Centrale Termoelectrice,Ingineria Mediului si Inginerie Economica este unul din laboratoarele catedrei de Energetică utilizat pentru efectuarea unor experimente cu studenţii.

În cadrul laboratorului studenţii se familiarizează cu fenomenele electrice legate de specialitatea lor, îşi formează deprinderi practice în vederea folosirii unor dispozitive şi circuite electrice, învaţă să citească aparatele de măsură a mărimilor electrice, acumulând astfel cunoştinţe privind studiul fenomenelor electromagnetice.

Îndrumarul de laborator cuprinde un număr de 17 lucrări ce se referă la studiul comportării unor circuite des întâlnite atât în curent continuu cât şi în curent alternativ monofazat şi trifazat.

În prima parte a îndrumarului se face o prezentare generală a laboratorului şi a principalelor norme de protecţia muncii.

În partea a doua se prezintă lucrările de laborator propriu-zise. La fiecare lucrare de laborator este prezentată o parte teoretică necesară pentru ca studenţii să înţeleagă principiile şi modul de lucru.

Lucrarea de faţă este un material foarte util în vederea pregătirii lucrărilor de laborator la disciplina ELECTROTEHNICĂ.

Autorii

INSTALAȚIA ELECTRICĂ A LABORATORULUI DE BAZELE ELECTROTEHNICII

Laboratorul de Bazele electrotehnicii este alimentat cu energie electrică de la tabloul general de distribuție al clădirii prin intermediul unui tablou de distribuție al laboratorului TDL, împărțit în două panouri.

De la TDL, prin cabluri energia electrică este distribuită în laborator la cele cinci tablouri terminale TT1, TT2, … TT5.

De la tabloul TDL se obțin următoarele alimentări: alimentare trifazată (380/220V cu 4 conductoare), alimentare monofazată 220V c.a. și alimentare cu 220v c.c. (redresare cu diode).

Panoul TDL conține și circuite de comandă și semnalizare, de măsură a tensiunii.

Panoul TDL este prevăzut în partea superioară cu două voltmetre pentru măsurarea tensiunii electrice (pentru fiecare linie de tablouri terminale câte unul) și două comutatoare prin intermediul cărora se comută voltmetrele, două comutatoare pentru comutarea fiecărei linii de TT și lămpi pentru semnalizarea prezenței tensiunii la intrarea în tablourile terminale din laborator.

În fig.1 este prezentat aspectul exterior al TDL, iar în fig.2 aspectul exterior al unui tablou terminal.

Tabloul terminal este prevăzut în partea superioară cu lămpi de semnalizare, la mijloc cu priză de curent continuu, cheie comutatoare și priză de curent alternativ, iar în partea de jos cu borne.

Lămpile aprinse arată că bornele de ieşire se află sub tensiune. Trebuie precizat că întreaga construcţie metalică a instalaţiei are masă comună la pământ.

Instalaţia electrică a laboratorului este proiectată şi executată astfel încât să funcţioneze în condiţii de maximă securitate.

Pentru buna desfăşurare a lucrărilor practice în laborator, pentru utilizarea eficientă şi disciplinată a timpului afectat lucrărilor şi pentru asigurarea protecţiei proprii şi a celor din jur ca şi protecţia aparaturii cu care se lucrează, studenţii au următoarele obligaţii:

- să cunoască toate indicaţiile generale din îndrumar, când intră la prima şedinţă de laborator;
- să-şi pregătească în prealabil, cu ajutorul îndrumarului lucrarea ce urmează să o efectueze.

Înainte de începerea efectivă a lucrării, studentul este chestionat asupra conţinutului lucrării. Necunoaşterea părţii teoretice atrage după sine neadmiterea studentului la şedinţa respectivă de lucrări.

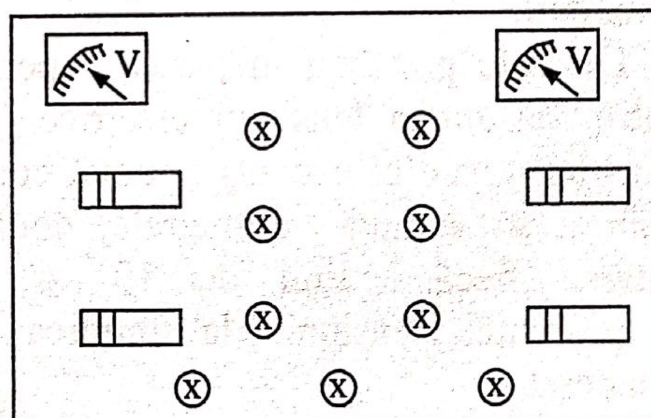


Fig.1. Vedere exterioară a tabloului de distribuţie al tabloului (TDL).

La intrarea în laborator pentru o nouă lucrare, să prezinte un referat asupra lucrării precedente.

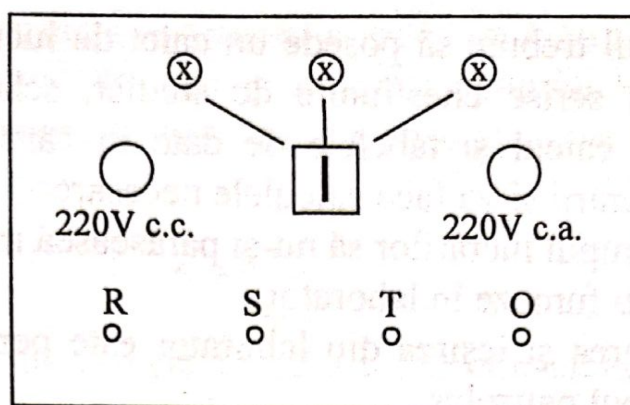


Fig.2. Vedere exterioară a unui tablou terminal

Referatul trebuie să conțină:

- titlul lucrării şi chestiunile de studiat;
- schema de principiu şi schema de lucru;
- lista detaliată a aparatelor utilizate;
- relațiile pentru calculul valorilor mărimilor măsurate;
- tabele şi diagrame cu date experimentale şi calculate;
- observații asupra lucrării.

Fără prezentarea referatului lucrării precedente, studentul nu va fi admis să efectueze lucrarea următoare.

Referatele prezentate se notează, cele necorespunzătoare atrag, după caz, refacerea lucrării şi a referatului sau numai a referatului, notarea făcându-se în consecință:

- să observe starea pieselor şi aparaturii pentru lucrare, sesizând personalului laboratorului eventualele nereguli sau defecte constatate;

- să execute lucrarea cu atenție maximă şi cu respectarea normelor de protecție a muncii.

Sursele de alimentare se vor conecta numai după verificarea montajului de către conducătorul lucrării şi numai în prezența acestuia.

Studentul răspunde pe toată durata lucrării, de starea pieselor şi aparatelor folosite.

Este interzisă punerea schemelor de lucru sub tensiune fără verificarea şi avizul conducătorului lucrării.

Studentul trebuie să posede un caiet de lucrări practice în care va avea scrise chestiunile de studiat, schema de lucru, formulele de calcul şi tabelele de date în care îşi va înscrie rezultatele lucrării şi va face calculele necesare.

- în timpul lucrărilor să nu-şi părăsească masa de lucru;
- să nu fumeze în laborator;
- intrarea şi ieşirea din laborator este permisă numai în timpul pauzelor.

Întreruperea alimentării cu energie electrică a schemei de lucru se face în prezenţa conducătorului lucrării şi cu avizul acestuia, care verifică dacă s-au efectuat toate punctele prevăzute în lucrare şi dacă schema de lucru a rămas în stare de funcţionare normală.

APARATE ELECTRICE DE MĂSURĂ ŞI UTILIZAREA LOR

Instrumentele electrice de măsurat utilizate în laborator sunt construite şi funcţionează pe baza principiului forţelor ponderomotoare din câmpul electric şi magnetic.

Ele sunt constituite dintr-un echipament fix şi unul mobil. Echipamentul mobil se deplasează faţă de cel fix, deplasare ce poate fi urmărită prin deviaţia unui ac indicator de-a lungul unei scale gradate.

Între deplasarea unghiulară a echipamentului mobil şi mărirea de măsurat x, există o relaţie de forma:

$$\alpha = f(x) \qquad (1)$$

Forma funcţiei f(x) indică dacă gradaţiile scalei sunt uniforme sau neuniforme şi dacă aceasta este gradată direct în unităţi ale mărimilor de măsurat.

Relaţia (1) se scrie sub forma:

$$x = k\alpha \qquad (2)$$

unde k este constanta aparatului şi este egală cu raportul dintre domeniul nominal de măsură al instrumentului x_n şi numărul maxim de diviziuni la cap scală. Constanta k se determină cu următoarea relaţie:

$$k = \frac{x_n}{\alpha_{\max}} \qquad (3)$$

Dacă se înlocuieşte în relaţia (2) constanta aparatului k vom obţine::

$$x = \frac{x_n}{\alpha_{\max}} \alpha \qquad (4)$$

Exemplu:

Un ampermetru cu 10 diviziuni pe scală, folosit pe domeniul 100A, indică 6 diviziuni.

Deci:

α_{max}=10 diviziuni, x_n=100 A, α=6 diviziuni.

$$k = \frac{x_n}{\alpha_{\max}} = \frac{100}{10} = 10 \left[\frac{A}{div}\right]$$

Valoarea curentului va fi:

$I = k*\alpha = 10*6 = 60$ A

În tabelul nr.1 sunt date principalele sisteme de funcţionare a dispozitivelor de măsurat, principiile lor de construcţie şi funcţionare, simboluri, posibilitatea de lucru şi utilizare curentă.

În afara simbolurilor prezente în tabelul nr.1 pe scala unui aparat electric de măsurat se mai găsesc anumite simboluri care precizează anumite proprietăţi sau condiţii de folosire ale aparatului şi anume: destinaţia aparatului (specificată fie complet – voltmetru, wattmetru, ampermetru etc. fie prin simbolul unităţii de măsură respective – V, W, A etc.), clasa de precizie a aparatului, exprimată printr-un număr ce reprezintă eroarea maximă în procente din valoarea reală a mărimii măsurate, frecvenţa nominală, numărul de fabricaţie, etc.

Toate aceste simboluri sunt prezentate în tabelul nr.2

Tabel nr.1

3.SISTEMELE DE FUNCȚIONARE A DISPOZITIVELOR DE MĂSURAT

Sistemul	Principiu de construcție și funcționare	Simbol	Posibilitați de lucru	
			Felul curentului	Domeniul de frecvență
Magneto-electric	Echipamentul mobil se deplasează ca rezultat al interacțiunii în câmp dintre un magnet permanent și una sau mai multe bobine parcurse de curent			
a) cu bobină mobilă	mMagnetul fix, bobina mobilă (tipul uzual)	[symbol]	—	/
	idem de mică inerție		≂	0 - 50^5 Hz
	magnetul fix bobinele incrucișate ș mobile	[symbol]	—	/
a_1) cu redresoare	se atașează tipului uzualredresoare uscate (diode semiconductoare)	[symbol]	≂	0 - $2\cdot10^4$ Hz
a_2) cu termo-elemente	se atașează tipului uzual termelemente	[symbol]	≂	0 - 50 MHz
b) cu magnet mobil	bobină fixă, magnetul mobil, de mică inerție	[symbol]	~	50 Hz
fero-magnetic	bobină (bobine) fixă parcursă de curent în câmpul căreia se deplasează o piesă (piese) feromagnetică mobilă	[symbol]	≂	0 - 500 Hz

de vibrație	variantă a sistemului feromagnetic, de mică inerție cu lamele vibrante			20 - 500 Hz
electro-dinamic	bobine fixe şi mobile parcurse de curenți, deplasarea fiind rezultatul interacțiunilor în câmpul magnetic			0 - 10^3 Hz
de inducție	circuite inductoare fixe (electromagneți) acționează asupra curenților induşi de ele în piese mobile conductoare şi neferomagnet			50 Hz
[illegible]tro-static	piese metalice, fixe şi mobile, aflate la o d.d.p. în câmpul cărora apar forțe de interacțiune			0 – 10^6 Hz

INDICAȚII CU PRIVIRE LA MANIPULAREA ŞI UTILIZAREA APARATELOR DE MĂSURĂ

Aparatele de măsură vor fi ferite de şocurile mecanice, pentru a se evita defectarea instrumentelor de măsură.

Ele se vor aşeza în poziția normală de lucru indicată de către furnizorul echipamentului, pe cadranul instrumentului de măsură.

Înainte de conectarea în circuit se va selecta domeniul maxim de măsurare, iar după conectare domeniul va fi micşorat treptat până ce acul indicator va avea o deviație ce se recomandă a se găsi în ultima treime a scalei, pentru ca eroarea să fie minimă.

Aparatele de măsură se vor aşeza pe masa de lucru în poziție orizontală (de regulă) pentru citiri precise şi rapide.

Citirea se va face perpendicular pe scala aparatului, pentru eliminarea erorii de paralaxă.

Tabel nr.2

Semnificaţie	Simbol
a. Simboluri pentru tipul curentului	
Curent continuu	—
Curent alternativ monofazat	~
Curent continuu şi curent alternativ monofazat	≂
Curent alternativ trifazat, pentru aparate cu un singur dispozitiv de măsurat	≋
Curent alternativ trifazat, pentru aparate cu două dispozitive de măsurat	≋
Curent alternativ trifazat, pentru aparate cu trei dispozitive de măsurat	≋
Curent alternativ trifazat, echilibrat	≋
b. Simboluri pentru tensiunea de încercare dielectrică	
Tensiunea de încercare 500 V	☆
Tensiunea de încercare peste 500 V (de ex. 2 kv)	☆
Nu se pretinde încercare dielectrică	☆
c. Simboluri pentru poziţia normală de funţionare	
Cu cadranul vertical	⊥
Cu cadranul orizontal	⊓
Cu cadranul înclinat faţă de orizontală (de ex. 60°)	∠60°

ALEGEREA REOSTATELOR PENTRU REGLAREA CURENTULUI ŞI TENSIUNII

În montajele în care se fac măsurătorile trebuie să existe posibilitatea reglării curenţilor şi tensiunilor, fie pentru a modifica condiţiile de măsurare, fie pentru a situa indicaţiile

instrumentelor de măsură a aparatelor spre sfârşitul scalelor astfel încât să se obţină erori relative de citire cât mai mici. O asemenea reglare trebuie să îndeplinească următoarele condiţii:

- reglarea să fie cât mai liniară şi mai lină;
- pierderile de putere în elementul de reglare să fie cât mai mici.

Pentru reglare se folosesc în mod curent fie reostate, fie în cazul curentului alternativ diferite mijloace electromagnetice (autotransformatoare reglabile, regulatoare de inducţie).

Reglarea curentului

Pentru reglarea curentului continuu sau alternativ în schemele electrice aferente lucrărilor de laborator, se utilizează, de obicei, reostatele metalice cu cursor, alcătuite din conductor metalic de *constantan (manganină)* înfăşurat pe unul sau doi cilindrii izolaţi de ceramică. Cursorul este accesibil la o bornă separată, uneori arcată pentru a se deosebi de celelalte borne ce reprezintă capetele înfăşurării.

Când se foloseşte reostatul cu un singur cilindru, el se conectează în circuit ca în fig.3 în care R_h s-a notat rezistenţa totală a reostatului, iar cu R rezistenţa consumatorului.

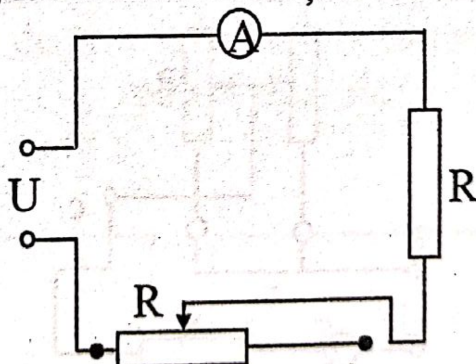


Fig.3 Schema de reglare a curentului şi tensiunii

Dacă se foloseşte reostatul pentru reglajul de curent, este necesar ca la închiderea comutatorului, reostatul să se găsească pe poziţia rezistenţei maxime, deci curent iniţial minim în circuit.

Când se utilizează un reostat cu doi cilindrii condiția de mai sus rămâne valabilă și se adoptă una din schemele de mai jos.

În schema electrică prezentată în fig.4 se utilizează o rezistență reglabilă prin intermediul a doi cilindrii în serie, iar în fig.5 se utilizează rezistența reglabilă a doi cilindrii în derivație (paralel).Reglarea reostatului se face în funcție de intensitatea curentului din circuit care nu trebuie să depășească curentul maxim admis înscris pe plăcuța reostatului, de către furnizorul echipamentului.

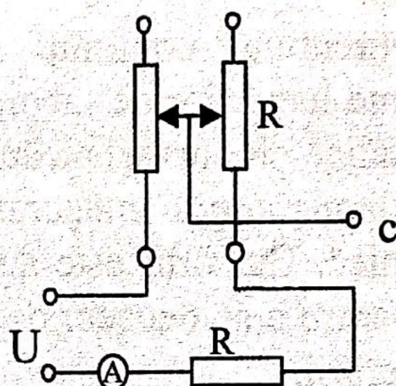


Fig.4 Schema de principiu a unei retzistențe reglabile a doi cilindrii în serie

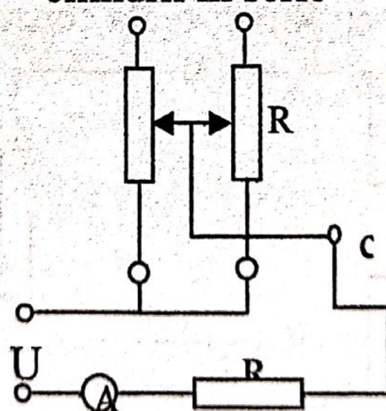


Fig.5 Schema de principiu a unei retzistențe reglabile a doi cilindrii în derivație

Reglarea tensiunii

Pentru alimentarea unui receptor cu tensiune continuă sau alternativă variabilă, mai mică decât tensiunea sursei, reostatele se folosesc în montaj potențiometric (fig.6, fig.7, fig.8).

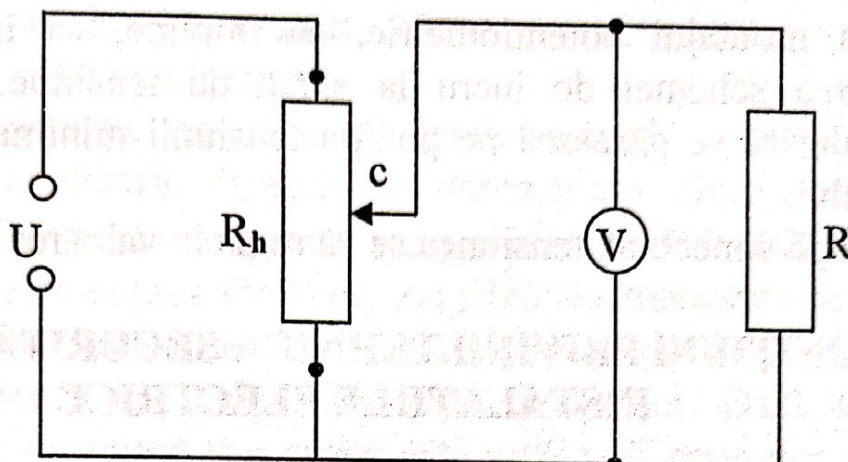


Fig.6 Schema de principiu a unui reostat simplu în montaj potențiometric

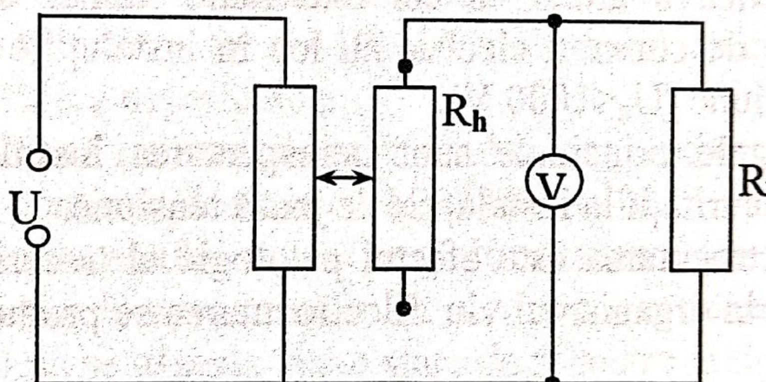


Fig.7 Schema de principiu a unui reostat dublu în montaj potențiometric

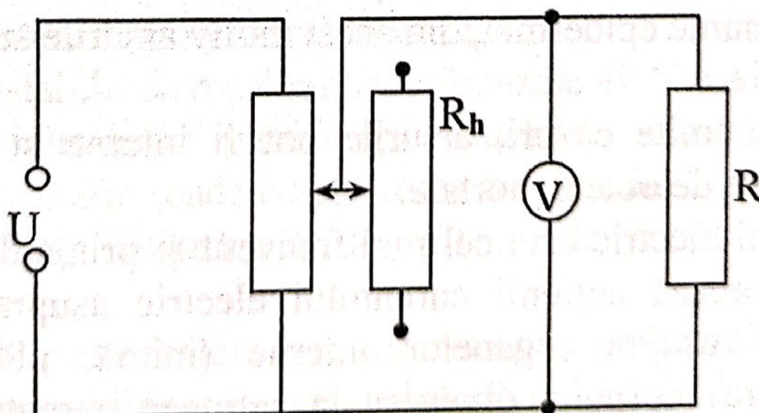


Fig.8 Schema de principiu a unui reostat dublu cu ambii cilindrii conectați

La montajul potențiometric, se impune, ca înainte de conectarea schemei de lucru la sursa de tensiune, cursorul reostatului să se găsească pe poziția tensiunii minime, aplicate reostatului.

După conectare, tensiunea se va regla la valoarea necesară.

NOȚIUNI PRIVIND TEHNICA SECURITĂȚII ÎN INSTALAȚIILE ELECTRICE

Deoarece în instalațiile electrice pericolul de accidentare nu este semnalat prin simțuri, trebuie luate măsuri de prevenire.

Practica a arătat că cel mai mare număr de accidente provocate de curentul electric au loc în instalațiile electrice de joasă tensiune (U_n<1000 V).

Cauzele principale sunt nerespectarea instrucțiunilor de tehnica securității la instalațiile de joasă tensiune.

Electrocutarea este efectul patologic al trecerii curentului electric prin organismul viu. Electrocutarea se produce sub două forme:

- electrotraumatism;
- șoc electric.

Cel mai periculos electrotraumatism este arsura. Corpul omenesc constituie o rezistență electrică datorită în principal pielei și anume epidermei, din acest motiv arsurile sunt de obicei superficiale.

În anumite cazuri, arsurile pot fi interne și atunci sunt foarte grave de obicei mortale.

Șocul electric este cel mai frecvent și primejdios accident și se datorează acțiunii curentului electric asupra sistemului nervos și asupra organelor interne (inimă, plămâni, etc). Comportarea corpului omenesc la acțiunea curentului electric diferă de la individ la individ și ea depinde de:

- starea pielii și locul de contact;
- suprafața și presiunea de contact;

- mărimea, felul şi durata curentului;
- mărimea tensiunii;
- mărimea frecvenţei.

Rezistenţa pe care o opune corpul omenesc trecerii curentului electric depinde de starea pielii. Dacă aceasta este uscată şi intactă, rezistenţa ajunge până la 100 KΩ, dacă este umedă, rezistenţa scade ajungând până la câteva sute de ohmi.

La trecerea curentului electric prin corpul omenesc, o mare importanţă o are calea străbătută de curent. Dacă acesta se închide prin inimă sau creier este mult mai periculos decât cel care se închide pe alte căi.

Rezistenţa corpului omenesc este mai mică dacă suprafaţa şi presiunea de contact sunt mai mari.

Curentul alternativ de 10 mA şi curentul continuu de 50 mA se consideră nepericulos.

Rezultă că rezistenţa organismului omenesc este mai mare la curentul continuu decât la curentul alternativ.

Durata curentului asupra corpului omenesc are următoarea influenţă timp de aproximativ 0,1 sec, între o contractare şi o dilatare, inima se găseşte într-o stare de relaxare în timpul căreia ea este deosebit de sensibilă la acţiunea curentului electric.

În stratul superficial al pielii, are loc fenomenul de străpungere atunci când se aplică tensiuni mari, rezistenţa acestui strat scade brusc şi creşte intensitatea curentului, care distruge ţesuturile prin efecte termice.

S-au stabilit ca tensiuni nepericuloase 40 V c.c. şi 12 V c.a. În curent alternativ, rezistenţa opusă de organism trecerii curentului electric scade cu creşterea frecvenţei.

Frecvenţa industrială de 50Hz este foarte periculoasă pentru om.

Din cele prezentate mai sus, rezultă următoarele măsuri de protecţie personală în laboratorul de BAZELE ELECTROTEHNICII:

- să nu se atingă părţile metalice aflate sub tensiune;

- este interzisă executarea schemelor de lucru aferente lucrărilor de laborator cu mâinile umede;
- se va lega obligatoriu la pământ părțile metalice situate în vecinătatea căilor de curent acolo unde sunt prevăzute;
- se vor strânge bine piulițele bornelor de legătură la executarea schemelor de lucru, pentru a se evita desfacerea lor în timpul desfăşurării lucrării şi deci atingerea lor accidentală;
- este interzisă acționarea cheilor de comandă ce acționează tablourile de distribuție ce alimentează cu tensiune electrică schemele de lucru aferente lucrărilor de laborator
- studenții trebuie să aibă o ținută adecvată lucrului în laborator cu specific electrotehnic (hainele, halatele strânse pe corp).

Lucrarea nr. 1

STUDIUL CIRCUITELOR CU ELEMENTE NELINIARE

1. *Chestiuni teoretice*

În cadrul acestei lucrări se studiază comportarea elementelor neliniare rezistive a căror caracteristică tensiune-curent U=f(I) este nelineară. Pentru a putea caracteriza rezistoarele neliniare se utilizează următoarele caracteristici şi parametrii:

a. *Caracteristica tensiune* U=(I) numită şi caracteristică voltampermetrică, care arată dependenţa între tensiunea la bornele elementului neliniar şi curentul care trece prin el, fig.1.

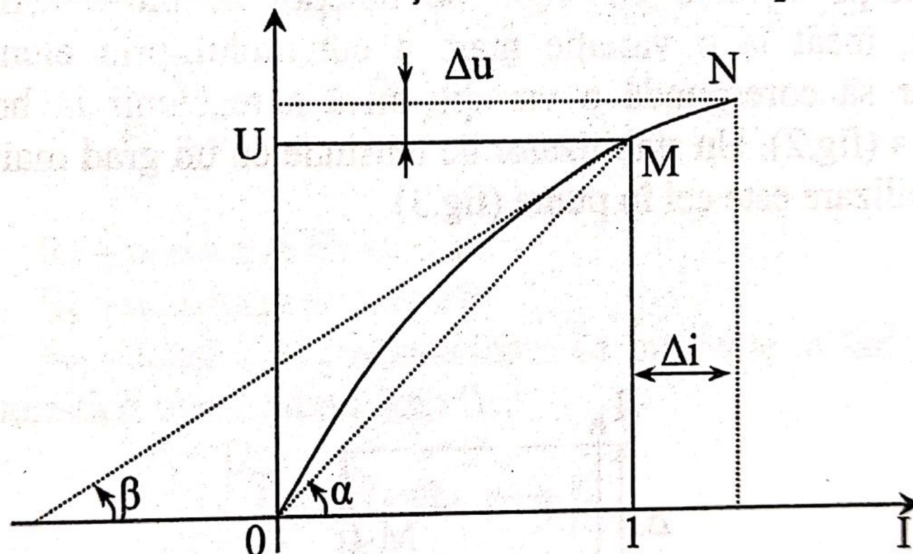


Fig.1 Caracteristica tensiune - curent

b. *Rezistenţa statică* într-un punct de funcţionare M se determină cu următoarea expresie:

$$R_{st} = U / I = k \cdot tg\alpha \quad (1)$$

unde:

k este raportul între scările grafice ale tensiunii (V/mm) şi curentului (A/mm).

c. *Rezistența dinamică* într-un punct de funcționare M se determină cu următoarea relație:

$$R_d = \lim_{\Delta I \to 0} \frac{\Delta U}{\Delta I} = \frac{dU}{dI} = k\,\mathrm{tg}\beta \qquad (2)$$

Pentru calculul circuitelor neliniare de curent continuu se utilizează teoremele lui Kirchhoff:

$$\sum_{k\in(b)} I_k = 0 \quad \text{(pentru fiecare nod b=1, 2, 3, ……, N-1)}$$

$$\sum_{k\in(p)} E_k = U_k \text{(pentru fiecare ochi p=1, 2, 3, ……., 0)} \qquad (3)$$

împreună cu caracteristicile tensiune-curent ale elementelor neliniare $U_k=f(I_k)=U_k(I_k)$.

Stabilizarea tensiunii cu ajutorul elementelor neliniare, se bazează pe situarea punctului de funcționare într-o astfel de poziție, încât la o variație mare a curentului prin elementul neliniar să corespundă o variație mică a tensiunii la bornele acestuia (fig.2). Un stabilizator de tensiune cu un grad mai mare de stabilizare este cel în punte (fig.3)

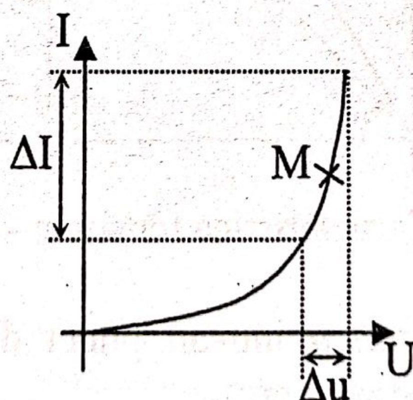


Fig. 2 variația tensiunii la bornele elementelor neliniare de circuit

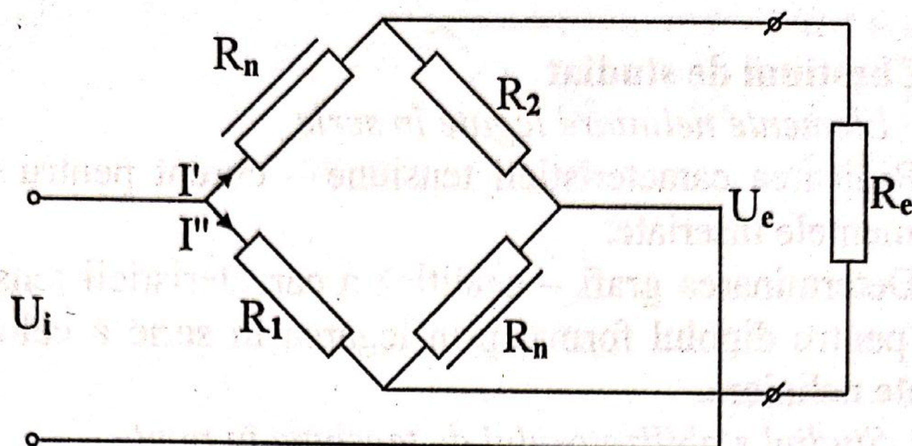


Fig. 3 Schema de principiu a unui stabilizator de tensiune

Dacă se aleg rezistențele liniare ale punții $R_1=R_2=R_d$, în care R_d este rezistența dinamică a elementelor neliniare pe porțiunea liniară caracteristicii, se determină tensiunea la ieșirea U_e, practic constantă (fig.4) utilizând următoarea relație:

$$U_e = \frac{R_s}{R_s + R_d} E_0 \quad [V] \qquad (4)$$

unde:

R_d – rezistență dinamică

R_s – rezistența de sarcină

E_0 - tensiunea electomotoare ce intervine la liniarizarea caracteristicii elementului neliniar.

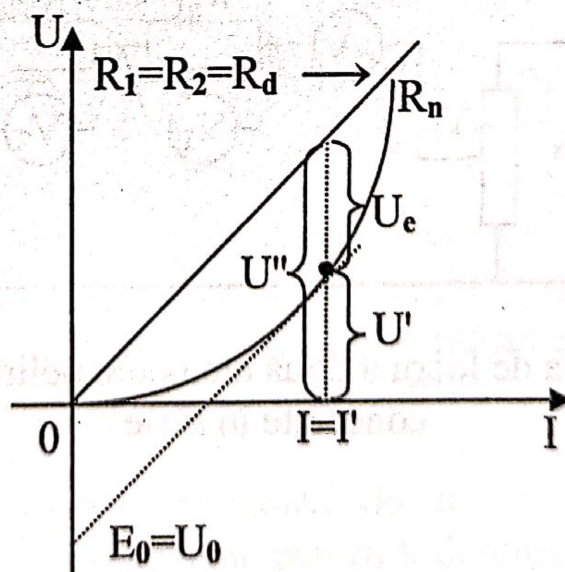


Fig.4 Caracteristica de variație tensiune-curent a stabilizatorului de tensiune

2. Chestiuni de studiat

2.1. Elemente neliniare legate în serie

a. Ridicarea caracteristicii tensiune – curent pentru fiecare din elementele înseriate.

b. Determinarea grafi – analitică a caracteristicii tensiune – curent pentru dipolul format prin legarea în serie a celor două elemente neliniare.

2.2. Studiul stabilizatorului de tensiune în punte

a. Determinarea experimentală a caracteristicii $U_c=f(U_i)$ pentru următoarele cazuri:

$R_1=R_2>R_d$;

$R_1=R_2=R_d$;

$R_1=R_2<R_d$

La mersul în gol şi în sarcină a stabilizatorului.

b. Determinarea grafo-analitică a acestor curbe şi compararea lor cu cele experimentale.

c. Verificarea valorii tensiunii stabilizate cu formula (4)

3. *Scheme experimentale şi aparate de măsură utilizate:*

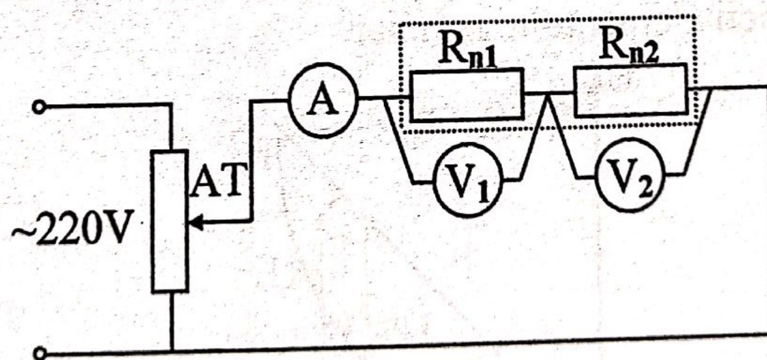


Fig. 5 Schema de lucru a două elemente neliniare de circuit conectate în serie

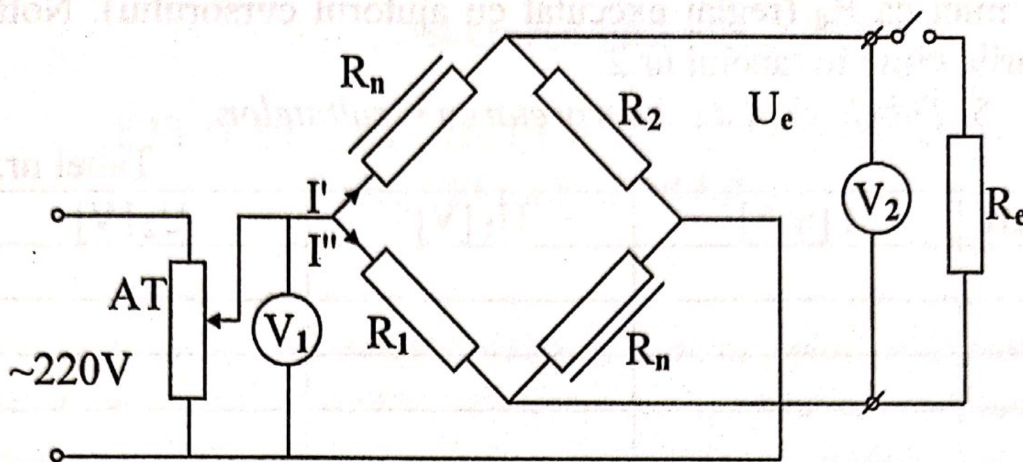


Fig. 6 Schema de lucru a unei punţi realizată din elemente neliniare de circuit

Elementele componente ale celor două scheme sunt:

AT – autotransformator

c – montaj cu două lămpi cu incandescenţă, una de 40 W şi cealaltă de 100 W, 220 V, legate în serie.

A- miliampermetru (MAVO-35, UNITRA)

V_1, V_2 – MAVO 35

R_s – reostat 580 Ω; 0,4 A

k – întrerupător monopolar

R_1, R_2 – reostate de 100 Ω, 2,45 A.

4. *Modul de lucru*

A. Se execută montajul din fig.5. După conectarea la tensiunea de 220 V curent alternativ, se variază tensiunea de intrare cu ajutorul autotransformatorului de la 0 la valoarea maximă. Se citesc curentul absorbit şi căderile de tensiune pentru fiecare lampă. Rezultatele se notează în tabelul nr.1.

B. Se execută montajul din fig.6, reostatele R_1, R_2 având cursorul între marcajele cu vopsea pentru a asigura o rezistenţă egală cu R_d=800Ω.

Se creşte treptat tensiunea de intrare aplicată punţii citindu-se indicaţiile la aparate pentru k deschis şi k deschis. Se repetă operaţia pentru R_1, R_2 reglate la valori mai mari şi apoi

mai mici ca R_d (reglaj executat cu ajutorul cursorului). Notăm valorile citite în tabelul nr.2.

5. *Tabele de date. Interpretarea rezultatelor.*

Tabel nr.1

Nr.crt	I [mA]	U_1 [V]	U_2 [V]
1			
2			
3			
4			
5			
6			

A. Se vor trasa grafic curbele $U_1=f(I)$ şi $U_2=f(I)$.

Se determină grafo-analitic $U=U_1(I)+U_2(I)=f(I)$.

B. Se trasează, grafic caracteristicile $U_e=f(U_i)$, pentru fiecare caz în parte, cu k închis şi k deschis.

Cunoscând de la punctul A caracteristica $U_2=f(I)$ şi valorile $R_1=R_2=R_d=800\Omega$, se determină grafo-analitic curbele de mai sus şi se reprezintă grafic.

Tabel nr.2

	k-deschis		k-închis	
	U_i[V]	U_e[V]	U_i[V]	U_e[V]
$R_1=R_2=R_d$				
$R_1=R_2>R_d$				
$R_1=R_2<R_d$				

Lucrarea nr.2

STUDIUL REGIMULUI TRANZITORIU ÎN CIRCUITELE LINIARE

1. *Chestiuni teoretice*

1.1. La conectarea sau deconectarea surselor de alimentare sau orice schimbare a parametrilor R,L,C se produc, în circuitele electrice, procese tranzitorii (trecătoare). Aceste procese corespund unor regimuri tranzitorii, care fac trecerea de la starea inițială a circuitului la o stare de regim permanent în care curenții variază după aceeași lege ca și tensiunea aplicată la borne. De exemplu, stabilitatea curentului continuu într-o bobină, sub acțiunea unei tensiuni constante aplicate la bornele circuitului, nu se face instantaneu, ci, în circuit, se stabilește un regim tranzitoriu în care intensitatea curentului crește de la valoarea inițială la valoarea constantă de regim permanent.

Metoda generală de studiu a regimului tranzitoriu constă în scrierea ecuațiilor integro-diferențiale ale circuitului și rezolvarea lor. Constantele de integrare ale soluției generale a ecuației diferențiale se determină în funcție de condițiile inițiale. Numărul de constante este egal cu ordinul de bobine și condensatoare existente în circuit.

1.2. Conectarea unui rezistor în serie cu un condensator la o sursă de tensiune continuă (fig.1)

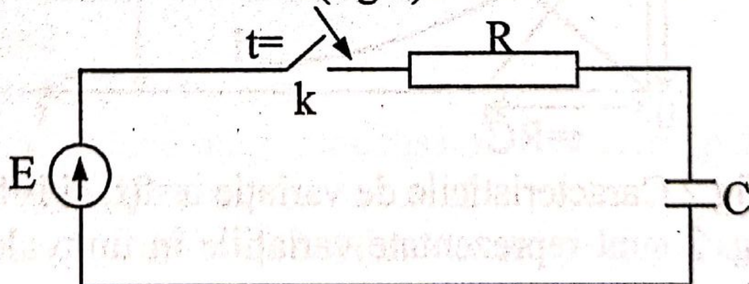


Fig. 1 Schema de principiu a unui circuit serie R, C

După închiderea întrerupătorului, conform teoremei a doua a lui Kirchhoff rezultă:

$$E_0=R_i+U_c \qquad (1)$$

Dacă se ţine seama că $i=C\frac{dU_c}{dt}$ se obţine ecuaţia diferenţială

$$RC\frac{dU_c}{dt}+U_c=E_0 \quad (2)$$

Soluţia generală a acestei ecuaţii este:

$$U_c=Ke^{-\frac{t}{R_c}}+E_0 \quad (3)$$

iar soluţia particulară $U_{ep}=E_0$.

Constanta de integrare K se determină din condiţia iniţială:

$U_c(0)=U_0 \Rightarrow K=U_0-E_0$

Tensiunea la bornele condensatorului este:

$$U_c=E_0(1-e^{-\frac{t}{RC}})+U_0e^{-\frac{t}{RC}} \quad (4)$$

unde $RC=\tau$ (constantă de timp).

Curentul de încărcare are expresia:

$$i=C\frac{dU_c}{dt}=\frac{E_0-U_0}{e}\cdot e^{-\frac{t}{RC}} \quad (5)$$

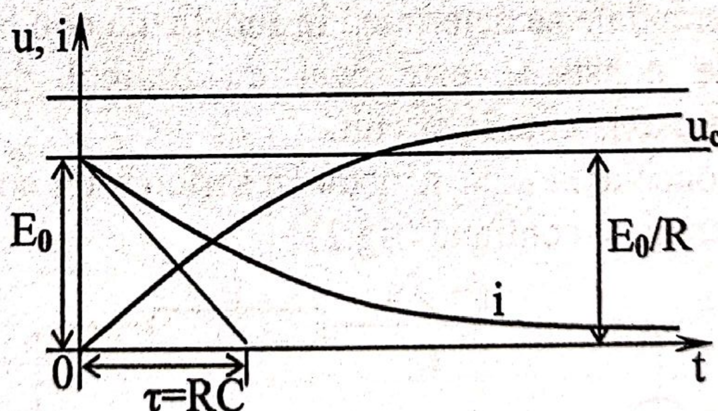


Fig.2 Caracteristicile de variaţie u=f(t) şi i=f(t)

În fig. 2 sunt reprezentate variaţiile în timp ale mărimilor $U_c(t)$ şi i(t).

1.3. Regimul tranzitoriu la descărcarea unui condensator.

Ecuaţia diferenţială a circuitului se obţine din relaţia (1) pentru $E_0=0$. Tensiunea la bornele condensatorului este:

$$U_c = U_0 \cdot e^{-\frac{t}{RC}} \tag{6}$$

iar curentul de descărcare:

$$i = \frac{U_0}{R} \cdot e^{-\frac{t}{RC}} \tag{7}$$

1.4. Conectarea circuitului serie R, L, C la o tensiune constantă (fig.3)

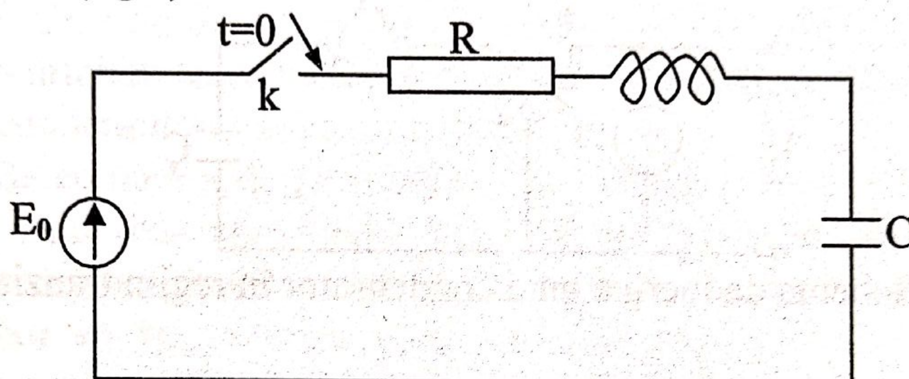


Fig.3 Schema de principiu a unui circuit R, L, C serie

Ecuaţia diferenţială a acestui circuit este:

$$Ri + L\frac{di}{dt} + \frac{1}{C}\int i dt = E_0 \tag{8}$$

Prin derivare se obţine:

$$L\frac{d^2i}{dt^2} + R\frac{di}{dt} + \frac{1}{c}i = 0 \tag{9}$$

la care soluţia este aperiodică, când rădăcinile ecuaţiei caracteristice sunt reale şi oscilantă amortizat, când rădăcinile sunt complexe.

2. *Chestiuni de studiat*

2.1. Conectarea unor condensatoare diferite în serie cu un rezistor la u sursă de tensiune continuă.

2.2. Descărcarea unor condensatoare pe un rezistor.

2.3. Descărcarea unui condensator iniţial încărcat cu un rezistor la o sursă de tensiune continuă.

2.4. Circuit R, L, C în regim tranzitoriu, pentru $R<R_{cr}$, $R=R_{cr}$.

3. *Scheme experimentale şi aparate de măsură utilizate*
Această schemă se utilizează la toate cele trei puncte.

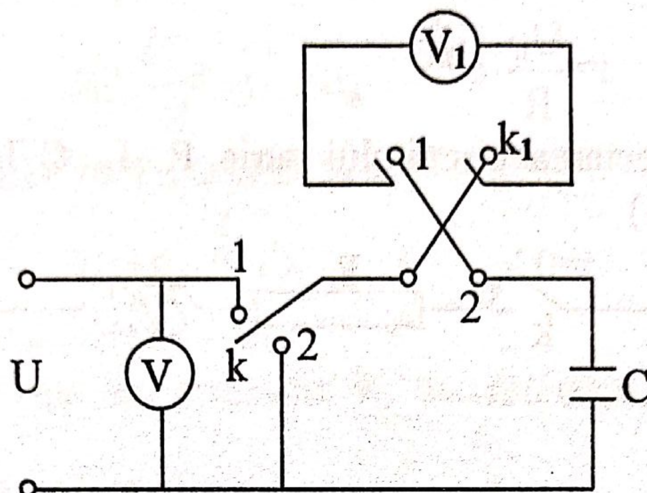


Fig.4 Schema de lucru a unui condensator în regim tranzitoriu

U – sursă de tensiune continuă 300 V
V – voltmetru curent continuu 300 V
V_1 – MAVO 35
k – comutator monopolar cu două poziţii
C – condensator 4μF, (8μF)

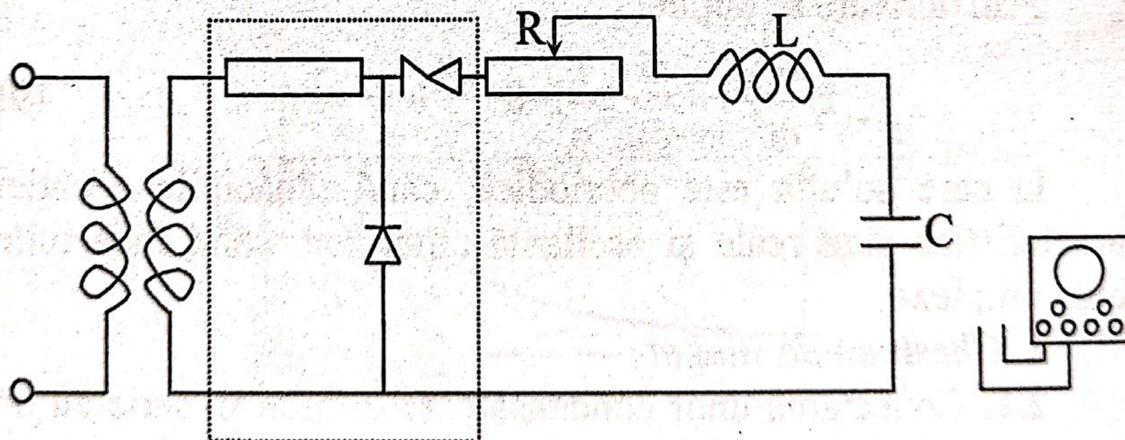


Fig.5 Schema de lucru a unui circuit R, L, C serie în regim tranzitoriu

G.I.T. – generator de impulsuri trapezoidale
R – potenţiometru bobinat 1KΩ
L – baterie de condensatoare (1.5, 1, 3μF)

4. *Modul de lucru*

4.1. Se execută montajul din fig.4. La începutul lucrării comutatorul k se pune pe poziţia 2 pentru ca acul indicator al voltmetrului V_1 să nu se deplaseze în sens invers.

Se schimbă k_1 pentru scurt timp pe poziţia 1. Dacă acul indicator al voltmetrului V_1 deviază în sens invers se modifică poziţia comutatorului k_1.

Înainte de fiecare încărcare, comutatorul k fiind pe poziţia 2, se scurtcircuitează condensatorul C sau voltmetru, pentru a se plasa condensatorul în condiţii iniţiale de zero.

Se comută k de pe poziţia 2 pe poziţia 1, la trecerea prin t=0 a unui ceas cronometru sau ceas cu secundar central. Se citeşte indicaţia voltmetrului V_1 la intervale de 10-15 secunde.

Nu se va schimba scala voltmetrului în timpul citirii, pentru a nu modifica rezistenţa serie de încărcare, care este chiar voltmetrul. Se fac citiri pentru C=4μF şi C=8μF.

Se trasează curbele i=f(t), unde $i=\frac{U_{v1}}{R_{v1}}$, U_{V1} fiind indicaţia voltmetrului, iar R_{V1} rezistenţa internă a acestuia.

4.2. Pentru punctul 2.2 la momentul t=0, se trece comutatorul k de pe poziţia 1 pe poziţia 2, simultan cu comutarea lui k_1, condensatorul C fiind încărcat.

Tensiunea iniţială, al t=0 se consideră aceea citită la voltmetrul V cu o fracţiune de timp înainte de comutarea lui k.

În acest mod, condensatorul se descarcă pe rezistenţa voltmetrului. Se procedează ca la 4.1 şi se citesc indicaţiile voltmetrului V_1 la diferite momente trasându-se curba $U_{v1}=f(t)$.

4.3. Pentru punctul 2.3, se procedează ca la 4.1, cu deosebirea că se porneşte la t=0 de la o tensiune iniţială oarecare a condensatorului C, citită pe voltmetrul V_1. La comutarea lui k se comută simultan şi k_1. Se trasează curba $i_{v1}=f(t)$, ca şi la punctul 4.1.

4.4. Caracterul acestui experiment este calitativ.

Se conectează bornele osciloscopului la bornele condensatorului.

După conectarea schemei din fig.5, se măreşte amplificarea osciloscopului, până când imaginea de pe ecran are amplitudinea corespunzătoare.

Rolul G.I.T. este de a da impulsuri sinusoidale.

Se reproduce pe caiete imaginea corespunzătoare diferitelor valori ale rezistenței R. Valoarea rezistenței R pentru care încep să apară oscilații (rezistența critică) se măsoară cu un Ohmetru. Se repetă măsurătorile şi pentru alte valori ale capacității condensatorului C.

5. *Tabele de date şi rezultate*

Pentru cele trei puncte se trec datele ridicate experimental în tabele de forma următoare:

Tabelul 1

Nr.crt	t[s]	U[V]	i[A]	Observații
1.				
2.				
3.				
4.				
5.				
6.				
7.				

Lucrarea nr.3

STUDIUL UNEI REȚELE DE CURENT CONTINUU

1. *Chestiuni teoretice*

Într-o rețea liniară de curent continuu se vor verifica: prima teoremă a lui Kirchhoff, teorema superpoziției, teorema generatorului echivalent de tensiune (Thevenin), teorema generatorului echivalent de curent (Norton) și teorema transferului maxim de putere.

Se consideră rețeaua liniară de curent continuu din fig. 1 având L=3 laturi, N=2 noduri și O=2 ochiuri fundamentale. Două dintre laturi sunt active și au rezistența fixă, iar a treia latură este pasivă și rezistența ei poate fi variată.

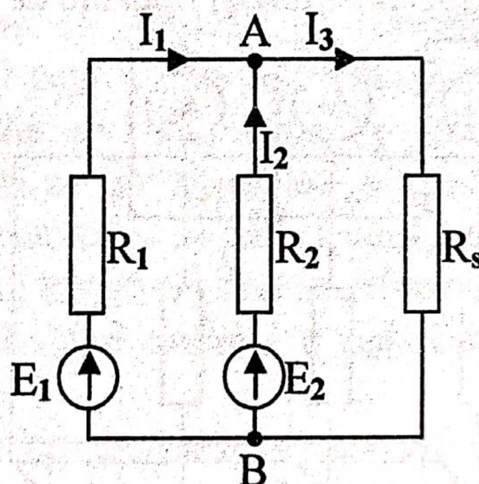


Fig.1 Schema de principiu a unei rețele liniare de curent continuu

Cu notațiile din fig.1 se verifică următoarele relații:

$I_1+I_2-I_3=0$; teorema I a lui Kirchhoff în nodul A.

$I_k=I'_k+I''_k (k=1,2,3)$; teorema superpoziției în laturile extreme;

$I_3=\dfrac{U_{AB_0}}{R_{AB}+R_3}$; teorema generatorului echivalent de tensiune (Thevenin) în latura 3.

$$U_{AB}=\frac{I_{sc_{AB}}}{G_{AB}+G_3}$$; teorema generatorului echivalent de curent (Norton) în latura 3.

$$P_{max}=F_{(R_{AB}-R_s)}=\frac{U^2_{AB_0}}{4\cdot R_{AB}}$$; teorema transferului maxim de putere.

2. *Chestiuni de studiat*

a) Se vor verifica: teorema I-a a lui Kirchhoff şi teorema superpoziţiei;

b) Se vor verifica: teorema generatorului echivalent de tensiune (Thevenin) şi teorema generatorului echivalent de curent (Norton);

c) Se va verifica teorema transferului maxim de putere.

3. *Scheme experimentale şi aparate de măsură utilizate*

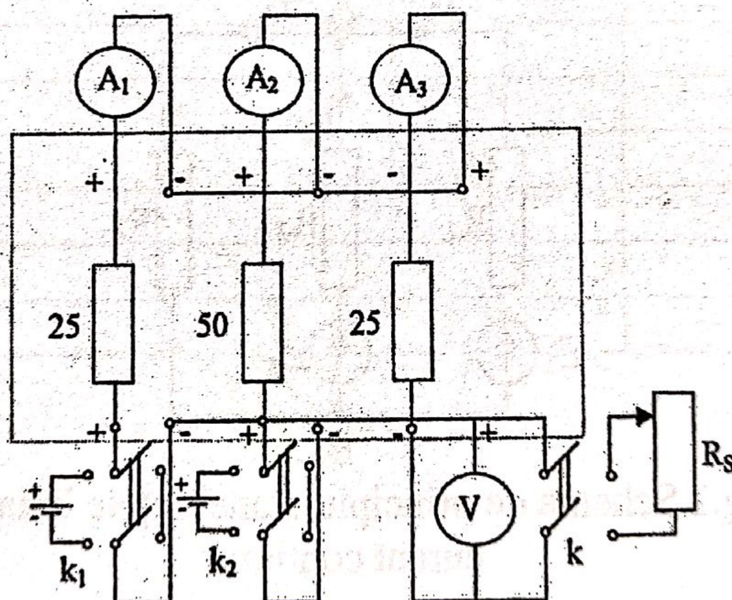


Fig. 2 Schema de lucru a unei reţele de curent continuu

Partea din montaj încadrată cu linie întreruptă este realizată pe o placă cu borne de acces.

E_1, E_2 – surse de curent continuu stabilizate, de tensiuni diferite între 6 şi 12 V

K_1, K_2 – comutatoare bipolare

K – întrerupător bipolar

A_1, A_2, A_3 – MAVO 35 sau UNITRA
V – MAVO 35
R_S – reostat de sarcină

4. *Modul de lucru*

Se conectează la rețeaua studiată ambele surse și reostatul de sarcină R_s (fig.2). Se reglează apoi rezistența reostatului R_S astfel încât intensitatea curentului I_3, să fie cuprinsă între 50 și 150 mA. La primele două puncte studiate se va lucra cu aceeași valoare a rezistenței de sarcină, deci nu se va modifica poziția cursorului.

a. Pentru verificarea teoremei superpoziției se introduc la început ambele surse în circuit (cu ajutorul comutatoarelor k_1 și k_2), respectând polaritățile aparatelor indicate în schema de montaj. Sensurile efective ale curenților din laturile 1, 2, 3 coincid în acest caz cu sensurile de referință din fig. 1 și toți curenții au semnul pozitiv. Se pasivizează apoi pe rând câte o latură (trecând câte un comutator k_1 sau k_2 în poziția de scurtcircuit), după ce în prealabil s-a schimbat polaritatea ampermetrului din latura ce se pasivizează, curentului respectiv i se va atribui semnul negativ. Când se reintroduce sursa în latură, se va reveni la montajul inițial (cu polaritățile din schema de montaj).

Cu datele înscrise în tabelul 1 se verifică pe linii teoremele I ale lui Kirchhoff și pe coloane teorema superpoziției.

b. Pentru verificarea teoremelor generatorului echivalent, se măsoară cu voltmetrul V tensiunea U_{AB0}, când circuitul reostatului R_s este întrerupt, adică la mersul în gol; se scurtcircuitează apoi reostatul R_s și se măsoară curentul de scurtcircuit I_{scAB} al bornelor (cu ampermetrul A_3). Cu ajutorul tabelului 2 se verifică teoremele generatoarelor echivalente de tensiune și de curent pentru circuitul accesibil prin bornele A și B.

Pentru linia 1 a tabelului 2, tensiunea U_{AB} la bornele reostatului R_s și curentul I_3 din latura 2, au valorile citite la

punctul 1 şi se iau din prima linie a tabelului 1. În linia 2 se vor trece valori măsurate pentru o tensiune la borne U_{AB}=1.5-2V.

c. Pentru verificarea teoremei transferului maxim de putere, reţeaua funcţionează cu ambele surse conectate şi cu reostatul de sarcină R_s introdus în latura 3.

Cu ajutorul reostatului de sarcină R_s se realizează trei regimuri de funcţionare: regim de transfer maxim de putere, când $R_s=R_{AB}$, (calculat la punctul 2), şi două regimuri când R_s are valori diferite de R_{AB}, una de 2 – 3 ori mai mică şi una de 2 – 3 ori mai mare ca R_{AB}.

Cu aceste date se completează şi tabelul 3 şi se verifică teorema transferului maxim de putere.

5. *Tabele de date şi rezultate*

E_1=....V E_2=....V

Tabelul 1

Nr crt	Sursa		I_1 [A]	I_2 [A]	I_3 [A]	U_{AB} [V]	Verificarea Teoremei I a lui Kirchhoff
	1	2					
1.	E_1	E_2					
2.	E_1	0					
3.	0	E_2					
4.	Verificarea Teoremei Superpoziţiei						

Tabelul 2

Valori măsurate					Rezultate (calculate)			
Nr. crt	U_{ab} (V)	I_s (A)	U_{AB0} (V)	I_{scAB} (A)	R_{AB}= $=U_{AB0}/I_{scAB}$	R_{AB}= $=U_{AB}/I_3$	I_3= $U_{AB0}/R_{AB}+R_s$	U_{AB}= $=I_{scAB}/G_{AB}+G_s$
1.								
2.								

E_1=....V E_2=....V R_{AB}=.....Ω

Tabelul 3

Nr. crt	R_s	Valori măsurate				Rezultate (calculate)	
		I_1 [A]	I_2 [A]	I_3 [A]	U_{AB} [V]	$Ps=E_1I_1+E_2I_2$	$P_s=U_{AB}I_2$
1.	$R_s=R_{AB}$						
2.	$R=1/2R_{AB}$						
3.	$R_s=2R_{AB}$						

Lucrarea nr.4

DETERMINAREA EXPERIMENTALĂ A REZISTENȚEI ELECTRICE UTILIZÂND LEGEA LUI OHM

1. CHESTIUNI TEORETICE

În cadrul acestei lucrări se determină pe cale experimentală rezistența electrică utilizând legea lui Ohm:

$I = U/R; U = RI$ (1)

Legea lui Ohm se referă la materiale liniare din punctul de vedere al conductei electrice (metalele).

Există şi materiale pentru care rezistenţa depinde de valoarea tensiunii (rezistenţe neliniare).

Rezistenţa electrică a unei porţiuni de conductor filiform este totdeauna pozitivă şi are următoarea expresie:

$R = \rho l/S$.

unde:

ρ – rezistivitate [$\Omega mm^2/m$]

l – lungimea conductorului [m]

S – secţiunea conductorului [mm^2]

2. CHESTIUNI DE STUDIAT

a) Determinarea pe cale experimentală a rezistenţei electrice a unui rezistor pentru diferite valori ale tensiunii şi curentului.

b) Determinarea erorii relative de măsură între rezistenţa etalon utilizate şi rezistenţa determinată experimental cu legea lui Ohm.

c) Ridicarea caracteristicilor I = f(R) şi U = f (R)

3. SCHEMA EXPERIMENTALĂ ŞI APARATELE DE MĂSURĂ

ATR – autotransformator 8A, 250V

A – ampermetru (UNITRA, MAVO – 35)

V – voltmetru (UNITRA, MAVO – 35)
K – comutator
P – punte redresoare
R_e – rezistenţa fixă, etalonată R_e = 2500 Ω

4. MODUL DE LUCRU

Se execută montajul din din figura 1. După conectarea la tensiunea de 220V prin intermediuzl comutatorului K a autotransformatului, se variază tensiunea de ieşire din autotransformator şi valorile citite se trec în tabelul 1.

Cu valorile citite se calculează rezistenţa cu ajutorul legii lui Ohm şi eroarea de măsură.

5. TABELUL DE DATE ŞI REZULTATE OBŢINUTE

TABELUL 1

Nr. crt.	U [V]	I [A]	R = U/I[Ω]	
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				

Se vor trasa grafic caracterisitcile: I = f (R) şi U = f (R)

Lucrarea nr.5

STUDIUL CIRCUITULUI SERIE R, L, C ÎN REGIM PERMANENT SINUSOIDAL

1. *Chestiuni teoretice*

Considerăm circuitul format dintr-un rezistor cu rezistenţa R, o bobină cu inducţia L şi un condensator cu capacitatea C, legate în serie şi alimentate cu o tensiune sinusoidală.

$$u=\sqrt{2}U\sin\omega t \qquad (1)$$

Curentul se poate calcula cu ajutorul impedanţei echivalente complexe, care este suma impedanţelor elementelor conectate în serie.

$$\underline{Z}=R+j\omega L+\frac{1}{j\omega C}=R+j\left(\omega L-\frac{1}{\omega C}\right)=Ze^{j\varphi} \qquad (2)$$

Curentul complex sub tensiunea la borne $\underline{U}=U$, luată ca origine de fază, este:

$$\underline{I}=\frac{\underline{U}}{\underline{Z}}=\frac{U}{Z}e^{j\varphi} \qquad (3)$$

Dacă se notează cu $X = X_L - X_C$ reactanţa circuitului, unde:

$$X_L = \varpi L \text{ - reactanţă inductivă}$$

$$X_C = \frac{1}{\varpi C} \text{ - reactanţa capacitivă} \qquad (4)$$

Expresia curentului va fi dată de relaţia:

$$\underline{I}=\frac{\underline{U}}{R+jX} \qquad (5)$$

a cărei valoare efectivă va fi:

$$I=\frac{U}{Z}=\frac{U}{\sqrt{R^2+\left(\omega L-\frac{1}{\omega C}\right)^2}}=\frac{U}{\sqrt{R^2+X^2}}=I(\omega) \qquad (6)$$

în care $\omega=2\pi f$ (f - frecvenţa)

Modulul impedanței complexe are expresia:

$$Z=\sqrt{R^2+X^2} \tag{7}$$

1.1. Diagrama fazorială a tensiunilor.

Din relațiile (2) şi (3) se obține:

$$\underline{U}=R\cdot I+j\cdot\omega\cdot\omega\cdot L-j\cdot\frac{I}{\omega\cdot C}=\underline{U}_R+j\cdot\underline{U}_L-j\cdot\underline{U}_C \tag{8}$$

Dacă se reprezintă fazorial relația (8) se obține reprezentarea din fig.1.

Din relația (2) şi din fig.1 rezultă că:

$$\varphi=\operatorname{arctg}\frac{\omega\cdot L-\frac{1}{\omega\cdot C}}{R}$$

iar $R=Z\cos\varphi$ şi $X=\sin\varphi$

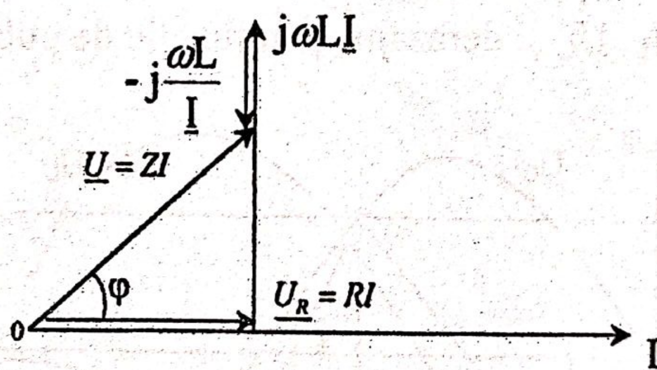


Fig. 1 Diagrama fazorială a tensiunii pentru un circuit R, L, C serie

1.2 *Rezonanța de tensiune*

Circuitul serie format dintr-un rezistor, o bobină şi un condensator în regim permanent sinusoidal, se află în rezonanță atunci când X=0 adică este îndeplinită condiția:

$$\omega L=\frac{1}{\omega C} \tag{9}$$

Relația (9) este condiția de rezonanță a circuitului serie R, L, C. Condiția de rezonanță se obține prin două moduri:

a) Menținând ω - constant şi variind L sau C;

b) Menţinând L şi C constante şi variind pe ω.

Pulsaţia de rezonanţă şi frecvenţa de rezonanţă au următoarele expresii:

$$\omega_0=\frac{1}{\sqrt{LC}} \tag{10}$$

$$f_0=\frac{1}{2\cdot\pi\cdot\sqrt{L\cdot C}} \tag{11}$$

Din reprezentarea fazorială (fig.1) se observă că la rezonanţă căderea de tensiune inductivă este compensată de cea capacitivă; din acest motiv, rezonanţa circuitului serie R, L, C este numită **rezonanţă de tensiune.**

În cazul rezonanţei, tensiunile la bornele bobinei şi condensatorului sunt: $\underline{U}_L=\underline{U}_C$.

În fig.2 sunt prezentate curbele de rezonanţă ale curentului I, tensiunilor U_L, U_C şi defazajul φ în funcţie de pulsaţia ω.

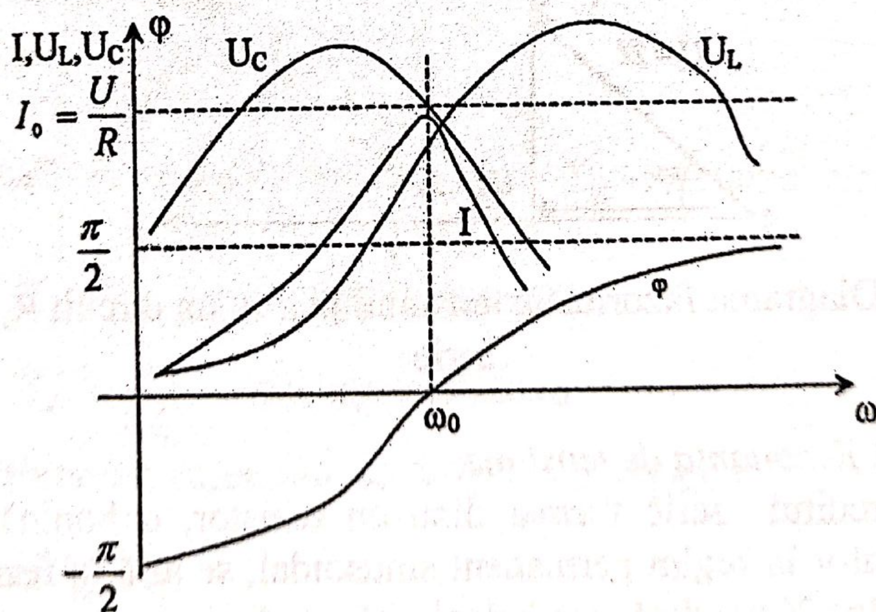


Fig.2 Reprezentarea curbelor de rezonanţă ale curentului, tensiunilor inductive şi capacitive şi defazajului în funcţie de pulsaţie

2. *Chestiuni de studiat*

2.1. Rezonanța circuitului serie R, L, C în cazul alimentării cu tensiuni de frecvență industrială (50 Hz).

a) Se vor construi diagramele fazoriale ale tensiunilor pentru diferite valori ale reactanței inductive X_L a bobinei, valoarea X_L călcându-se cu relația:

$$X_L = \sqrt{\left(\frac{U_L}{I}\right)^2 - r_L^2} \qquad (12)$$

în care U_L este tensiunea care se măsoară la bornele bobinei cu un voltmetru iar I este intensitatea curentului din circuit. (se dă R_L=….).

b) Pentru diferite valori ale inductivității L, se vor trasa caracteristicile: $I=f_1(x_L)$; $U_L=f_2(x_L)$; $U_C=f_3(x_L)$

c) Se va pune în evidență punctul de rezonanță, determinându-se în acest caz I și verificându-se relația $U_L=U_C$ precum și faptul că $I=\frac{U}{R}$ (din calcul și pe cale experimentală prin citire la ampermetru).

3. *Scheme experimentale și aparate de măsură folosite:*

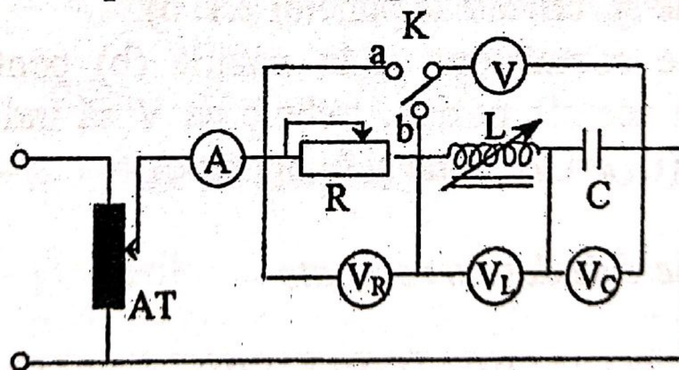


Fig. 3 Schema de lucru a unui circuit serie R, L, C în regim permanent sinusoidal

AT – autotransformator
A – MAVO 35
V_C – voltmetru 65 V – 130 V
V, V_L, V_C – voltmetre (MAVO35 - UNITRA)

R – reostat 580 Ω
L – bobină cu miez magnetic variabil
C – condensator 16μF

4. *Modele de lucru*

Miezul magnetic al bobinei se introduce complet în interiorul bobinei. În acest fel bobina are inductanţa, deci şi reactanţa X_L maximă.

Se variază contactul mobil al autotransformatorului AT astfel încât voltmetrul V cu comutatorul în poziţia (a) să indice circa 80 V. Se citeşte I la ampermetru A, U_R la V_R, U_L la V_L, U_C la V_C. În tot acest timp U citită la voltmetru V rămâne constantă.

Se trece apoi miezul în poziţia extremă (se scoate afară complet din bobină). Bobina va avea inductivitatea minimă şi deci reactanţa minimă. Se repetă operaţiile de mai sus. Se calculează acum, ţinând seama de relaţia (12), valorile extreme ale lui X_L (X_{Lmax} şi X_{Lmin}). Se repetă operaţiile anterioare pentru diferite poziţii ale miezului magnetic în interiorul bobinei. În acest fel pot fi reprezentate diagramele tensiunilor precum şi caracteristicile specificate la punctul 2.1. b).

Se trece comutatorul k în poziţia (b) pentru starea de rezonanţă. În această poziţie, trebuie ca V să indice, practic o valoare nulă ($U_{L0}=U_{C0}$, fiind şi în opoziţie).

5. *Tabele de date şi rezultate*

Tabelul 1

Nr. crt	r_L[Ω]	I[A]	U_L[V]	U_C[V]	U_R[V]	X_L[Ω]	Obs.
1.							
2.							
3.							
4.							
5.							
6.							
7.							

Lucrarea nr.6

STUDIUL FORȚELOR ELECTROMAGNETICE DE INTERACȚIUNE DINTRE DOUĂ BOBINE

1. *Chestiuni teoretice*

Se consideră un sistem de n circuite filiforme parcurse de curenții de conducție $i_1, i_2, \dots, i_n$ și legate la surse de energie cu tensiuni electromotoare $e_{g1}, e_{g2}, \dots, e_{gn}$. Circuitele pot fi mobile sau imobile, iar t.e.m. și curenții, variabili în timp.

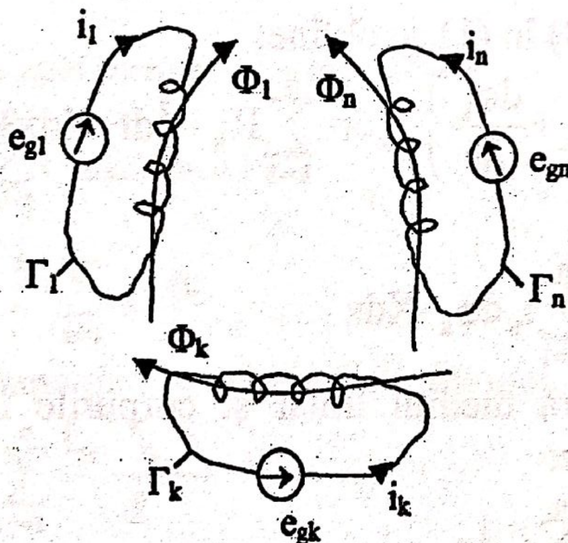


Fig. 1 Schema de principiu a unui sistem de n circuite filiforme

Energia totală debitată de surse în timpul dt este: $\sum_{k=1}^{n} e_{gk} \cdot i_k dt$ și ea trebuie să acopere:

- pierderile de energie prin efect Joule – Lentz în rezistențele $R_1, R_2, \dots R_n$ ale circuitelor;
- variația de lucru mecanic efectuat de forțele din câmpul magnetic la deplasarea circuitului δL;
- creșterea energiei mecanice dW_m, localizată în câmpul magnetic al circuitului.

Bilanțul energetic al sistemului în timpul dt este:

$$\sum_{k=1}^{n} e_{gk} \cdot i_k dt = \sum_{k=1}^{n} R_k \cdot i_k^2 + \delta \cdot L + d \cdot W_m \qquad (1)$$

în care: $\delta L = X dx$ (2)

unde X este forţa magnetică generalizată, iar x coordonata generalizată. În timpul dt, fluxurile prin circuite pot varia şi se vor induce în circuite tensiuni electromotoare de forma:

$$e_{gk} = -\frac{d\varphi_k}{dt} \tag{3}$$

Aplicând legea lui Ohm fiecărui circuit închis rezultă:

$$e_{gk} - \frac{d\varphi_k}{dt} = R_k \cdot i_k \tag{4}$$

Înlocuind (4) în (1) se obţine:

$$\sum_{k=1}^{n}\left(R_k \cdot i_k + \frac{d\varphi_k}{dt}\right)\cdot i_k dt = \sum_{k=1}^{n} R_k \cdot i_k^2 dt + Xdx + dW_m$$

din care rezultă:

$$dW_m = \sum_{k=1}^{n} i_k d\varphi_k - Xdx \tag{5}$$

Se consideră mediul liniar şi corpurile imobile (dx=0). Relaţia (5) devine:

$$dW_m = \sum_{k=1}^{n} i_k d\varphi_k \tag{6}$$

adică variaţia energiei magnetice este dată numai de variaţia fluxurilor magnetice (a curenţilor care le produc).

Pentru regimul cvasi-staţionar se poate scrie, pe baza relaţiilor lui Maxwell pentru inductivităţi, Φ_k într-o stare oarecare sub forma:

$$\varphi_k = \sum_{j=1}^{n} L_{kj} \cdot i_j \tag{7}$$

Se notează cu λ raportul dintre intensitatea curentului într-o stare intermediară şi intensitatea curentului în starea finală:

$$\lambda = \frac{i_j}{i_{jfinal}}, \text{ unde } 0 \le \lambda \le 1 \tag{8}$$

Din (7) ţinând seama de (8) rezultă:

$$\varphi_k = \sum_{j=1}^{n} L_{kj} \cdot \lambda \cdot i_{jfinal} = \lambda \cdot \sum_{j=1}^{n} L_{kj}\, i_{jfinal} \quad (9)$$

Notând $\sum_{j=1}^{n} L_{kj} \cdot i_{jfinal} = \varphi_{kfinal}$ se obţine: $\Phi_k = \lambda \cdot \Phi_{kfinal}$ (10)

în care λ este acelaşi pentru toate circuitele şi are valoarea 0 în starea iniţială şi 1 în starea finală.

Pentru o stare intermediară se scrie:

$$d\Phi_k = d\lambda \Phi_{kfinal}\,;\; i_k = \lambda i_{kfinal} \quad (11)$$

Expresia variaţiei energiei magnetice devine:

$$dW_m = \sum_{k=1}^{n} \left(i_{kfinal} \varphi_{kfinal} \right) \lambda d\lambda \quad (12)$$

unde $W_m = \frac{1}{2} \cdot \sum_{k=1}^{n} i_k \cdot \varphi_k$ (13)

Ţinând seama de (7), relaţia (13) devine:

$$W_m = \sum_{k=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} \frac{L_{kj} \cdot i_k \cdot i_j}{2} \quad (14)$$

Energia magnetică a două bobine cuplate magnetic (fig.2) este:

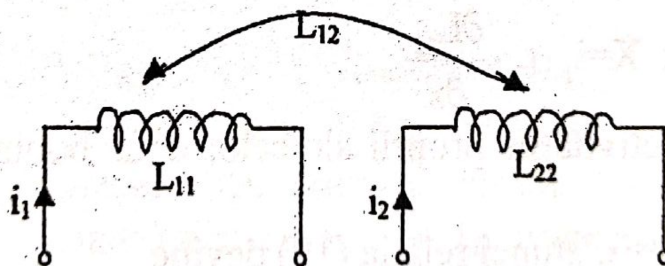


Fig. 2 Reprezentarea unui cuplaj magnetic dintre două bobine

$$W_m = \frac{L_{11} \cdot i_1^2}{2} + \frac{L_{12} \cdot i_2 \cdot i_1}{2} + \frac{L_{11} \cdot i_2^2}{2} \text{ sau}$$

$$W_m = \frac{L_{11} \cdot i_1^2}{2} + \frac{L_{11} \cdot i_2^2}{2} + L_{12} \cdot i_1 \cdot i_2 \quad (15)$$

Pentru calculul forței de interacțiune dintre cele două bobine, considerând curenții constanți se folosește relația:

$$(dW_m)_{i_k=ct}=d\left(\sum_{k=1}^{n} i_k \cdot \varphi_k\right)_{i_k=ct.}-Xdx \qquad (16)$$

Conform relației (13) se scrie:

$$\left(\sum_{k=1}^{n} i_k \cdot \varphi_k\right)_{i_k=ct}=d\left(\sum_{k=1}^{n} i_k \cdot \varphi_k\right)_{i_k=ct}=2(dW_m)_{i_k=ct}$$ şi rezultă:

$$(dW_m)_{i_k=ct}=Xdx \qquad (17)$$

de unde: $$X=\left(\frac{\partial W_m}{\partial x}\right)_{i_k=ct} \qquad (18)$$

Forța de interacțiune dintre cele două bobine, conform (18) va fi: $$X=\left[\frac{\partial}{\partial x}\cdot\left(\frac{L_{11}\cdot i_1^2}{2}+\frac{L_{22}\cdot i_2^2}{2}+L_{12}\cdot i_1\cdot i_2\right)\right]_{i_1,i_2=ct}$$

de unde: $$X=i_1\cdot i_2\cdot\frac{\partial L_{12}}{\partial x} \qquad (19)$$

deoarece inductivitățile proprii ale celor două bobine nu variază cu distanța x.

Pentru $i_1=i_2$, atunci relația (19) devine:

$$X=i^2\cdot\frac{\partial L_{12}}{\partial x} \qquad (20)$$

deci variație parabolică a forței.

2. *Chestiuni de studiat*

a. Se va determina forța de interacțiune dintre o bobină fixă şi una mobilă.

b. Se va trasa caracteristica $F=f(I)$ luându-se $I_1=I_2=I$.

3. *Scheme experimentale şi aparate de măsură utilizate*

Pentru cele două puncte se utilizează schema din fig.3:

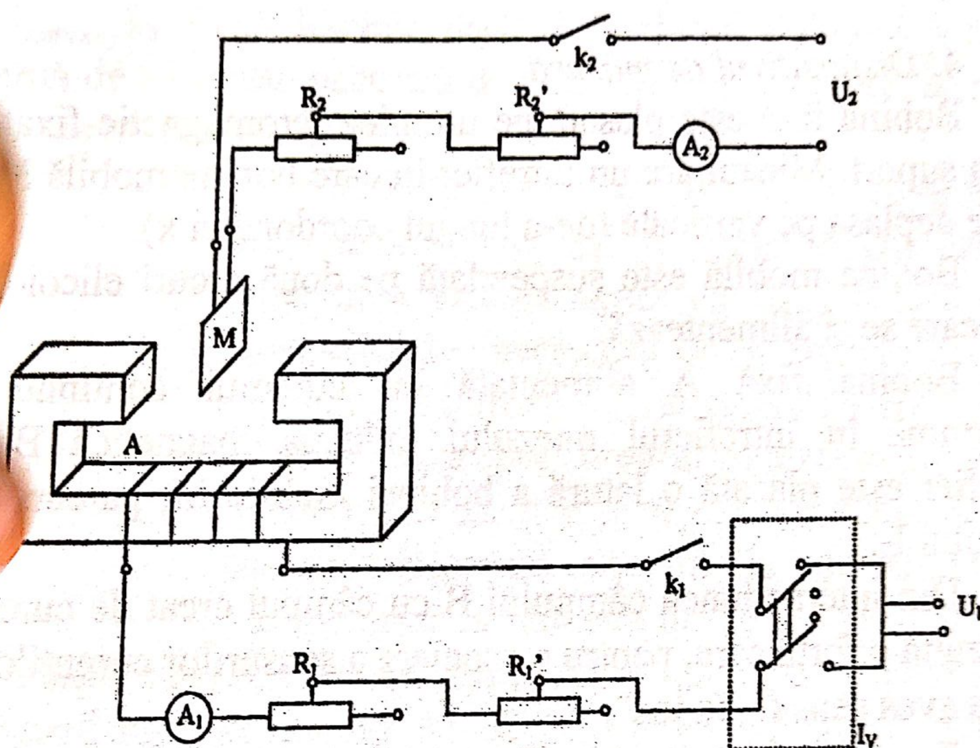


Fig. 3 Schema de lucru pentru determinarea experimentală a forţei de interacţiune

A – bobină fixă cu $N_1=6000$ spire;

M – bobină mobilă cu $N_2=100$ spire;

A_1, A_2 – ampermetre magnetoelectrice (MAVO) pentru măsurarea curentului I_1, respectiv I_2 ($I_{1max}=0,5$ A; $I_{2max}=0,2$ A);

R_1 – reostat pentru reglarea fină a curentului I_1 (2 x 1200Ω, 0,63A);

R_1 – reostat pentru reglarea brută a curentului I_1 (2 x 570, 1A);

R_2 – reostat pentru reglarea fină a curentului I_2 (2 x 3500Ω, 0,4A);

R_2 – reostat pentru reglarea brută a curentului I_2 (2 x 570Ω, 1A);
k_1, k_2 – întrerupătoare;
I_v – inversor.

4. *Dispozitivul de măsură.*

Bobina fixă este plasată pe un miez feromagnetic fixat pe placa suport. Miezul are un întrefier în care bobina mobilă M se poate deplasa pe verticală (de-a lungul coordonatei x).

Bobina mobilă este suspendată pe două arcuri elicoidale, prin care se şi alimentează.

Bobina fixă A alimentată cu curentul continuu I_1, determină în întrefierul miezului inducţia magnetică B. În întrefier este plasată o latură a bobinei mobile M, parcursă de curentul I_2.

Din interacţiunea câmpului B cu câmpul creat de curentul I_2 rezultă o forţă care, pentru o asociere a sensurilor curenţilor I_1, I_2, va avea sensul „în jos".

Forţa va fi proporţională cu inducţia B şi cu numărul de amperi – spire $I_2 N_2$ şi, la neglijarea reluctanţei fierului, B va fi proporţională cu $I_1 N_1$.

Determinarea forţei F se face prin măsurarea săgeţii arcurilor, prin care este alimentat echipamentul mobil, şi care opun lui F forţa elastică F_0. La echilibru:

$$F_0=K\Delta x=F \qquad (21)$$

unde: k – constanta de elasticitate a arcurilor;

Δx – deplasarea relativă a bobinei mobile faţă de poziţia iniţială.

5. *Modul de lucru*

a. Pentru determinări experimentale se execută montajul din fig.3. Se conectează cele două bobine la tensiuni de curent

continuu de valori diferite (Bobina A se alimentează cu tensiunea continuă de 220 V, iar bobina M cu tensiunea continuă mai mică).

b. Se verifică dacă miezul electromagnetului este demagnetizat, alimentând bobina mobilă cu un curent apropiat de I_{1max}, k_1 fiind deschis; dacă dispozitivul indică o valoare diferită de zero este necesară demagnetizarea miezului. În acest scop se procedează astfel:

- se închide k_1 şi se deschide k_2, iar cu ajutorul reostatelor R1 şi R_1' se reglează curentul I_1 până la o valoare egală cu I_{1max} pentru care inversorul I_V inversează de aproximativ 5 ori curentul, cu o frecvenţă maximă de 2 Hz.
- se micşorează apoi curentul cu a zecea parte din curentul precedent şi se repetă procedeul de mai sus. Se micşorează curentul din nou cu aceeaşi ş.a.m.d. până la valoarea de 0,5 A.

Dacă miezul este demagnetizat (sau după o prealabilă demagnetizare) se închid k1 şi k2, IV fiind într-o poziţie corespunzătoare polarităţilor indicate pe placa suport, lângă borne, şi de exemplu pentru I2=0.1, 0.2, …, 0.5 A.

Cu valorile obţinute pentru x se determină forţele electromagnetice F_1 cu relaţia (21).

Valorile obţinute cu relaţia (21) se compară cu valorile corespunzătoare, calculate cu relaţia:

$$F_2=2{,}1\ 10^{-4}\cdot I_1\cdot N_1\cdot I_2\cdot N_2\cdot l\ [N]$$

în care l este lungimea laturii din întrefier (m).

Diferenţele care vor apare se datorează în principal faptului că lăţimea bobinei mobile este mai mare decât l, diferenţa fiind plasată în fluxul de dispersie al elctromagnetului.

c. Cu valorile obţinute pentru $I_1=I_2=I$ se trasează caracteristica F=f(I).

6. *Tabel de date*

Tabelul 1

Nr. crt	I_1[A]	I_2[A]	F_1[N]	F_2[N]	$\Delta F=F_1-F_2$[N]
1.					
2.					
3.					
4.					
5.					
6.					
7.					
8.					

Lucrarea nr.7

DETERMINAREA IMPEDANŢEI ECHIVALENTE PENTRU „n" IMPEDANŢE CONECTATE ÎN SERIE

1. CHESTIUNI TEORETICE

Energia impedanţei echivalnete pentru un circuit de impedanţe serie prezentate în figura 1 se deduce pornind de la următoarele observaţii:

- valoarea intensităţii curentului electric prin cele „n" impedanţe conectate în serie, are aceeaşi valoare

$$(I_1 = I_2 = I_3 = ... = I_n = I)$$

- căderile de tensiune aferente impedanţelor conectate în serie sunt diferite

$$(U_1 \# U_2 \# U_3 \# \; ...... \# U_n),$$

iar suma lor reprezintă căderea totală de tensiune pe cele „n" impedanţe.

Conform teoremei a II-a a lui Kirchhoff, vom avea:

$$\underline{U} = \underline{U_1} + \underline{U_2} + \underline{U_3} + ... + \underline{U_n} \qquad (1)$$

Dar ţinând cont de legea lui Ohm şi de observaţiile făcute putem scrie:

$$\underline{U_1} = \underline{Z_1 I}$$
$$\underline{U_2} = \underline{Z_2 I}$$
$$\underline{U_3} = \underline{Z_3 I}$$
$$,$$
$$, \qquad (2)$$
$$,$$
$$,$$
$$\underline{U} = \underline{Z_n I}$$

Înlocuind relaţiile (2) în relaţia (1) vom obţine:

$$\underline{U}=\underline{Z}_1\underline{I}+\underline{Z}_2\underline{I}+\underline{Z}_3\underline{I}+....+\underline{Z}_n\underline{I}$$
$$\underline{U}=\underline{I}\,(\underline{Z}_1+\underline{Z}_2+\underline{Z}_3+....+\underline{Z}_n) \qquad (3)$$
$$\underline{U}/\underline{I}=\underline{Z}_1+\underline{Z}_2+\underline{Z}_3+....+\underline{Z}_n$$

Ținând cont de expresia impedanței complexe în funcție de rezistență și reactanță ($\underline{Z}$=R+jX), relația devine:

$$\underline{U}/\underline{I}=R_1+jX_1+R_2+jX_2R_2+R_3+jX_3+.....+R_n+jX_n$$
$$\underline{U}/\underline{I}=(R_1+R_2+R_3+....+R_n)+j(X_1+X_2+X_3+....+X_n)$$
$$\underline{U}/\underline{I}=R_k+jX_k \qquad (4)$$

Raportul $\underline{U}/\underline{I}$ reprezintă impedanța echivalentă ce se atribuie laturii celor „n" impedanțe conectate în serie se pot înlocui cu 2 impedanțe echivalente în următoarele condiții:
- prin impedanța echivalentă circulă o intensitate a curentului prin cele „n" impedanțe
- căderea de tensiune pe impedanța echivalentă este egală cu căderea de tensiune pe cele „n" impedanțe.

În aceste condiții relația (4) devine:

$$\underline{Z}_e=R_k+jX_k=R_k+jX_e$$

2. CHESTIUNI DE STUDIAT

a) Se va determina experimental valoarea impedanței echivalente
b) Se va determina prin calcul caloarea impedanței echivalente
c) Se va determina eroarea dintre cele două determinări

3. SCHEMA EXPERIMENTALĂ ȘI APARATELE DE MĂSURĂ UTILIZATE

ATR – autotransformator 8A, 220V
A – ampermetru 0÷250 V

K – comutator
MB – macheta de bază
R_1, R_2, R_3 – condensatoare electrice (5μF)
L_1, L_2 – bobine electrice cu inductivitatea de 10H

4. MODUL DE LUCRU

Se execută montajul din figură realizându-se înscrierea celor trei impedanţe a căror configuraţie este realizată pe macheta de bază.

Se conectează comutatorul K şi prin intermediul autotransformatorului se alimentează circuitul cu tensiuni variabile de 50, 100, 250şi 150, 175 şi 220 V, iar valorile obţinute ale curentului şi impedanţei echivalente se trec în tabelul 1.

Se determină prin calcul impedanţa echivalentă a celor trei impedanţe din configutraţia machetei.

Între cele două impedanţe echivalente obţinute (impedanţa echivalentă calculată şi impedanţa echivalentă determinată experimenatl) se determină eroarea de calcul.

5. TABELUL DE DATE ŞI REZULTATE OBŢINUTE

TABELUL 1

Nr. crt.	U [V]	I [A]	Z_{ec} [Ω]	Z_{ee} [Ω]		Obs.
1						
2						
3						
4						
5						
6						

Lucrarea nr.8

DETERMINAREA IMPEDANȚEI ECHIVALENTE A „n" IMPEDANȚE CONECTATE ÎN DERIVAȚIE

1. CHESTIUNI TEORETICE

Această lucrare îşi propune să facă o analiză între determinarea pe cale experimentală şi determinarea prin calcul a impedanţei echivalente a „n" impedanţe conectate în derivaţie. Această analiză are ca obiectiv determinarea erorii relative între cele două impedanţe determinate pe cale experimentală şi prin calcul. Vom cosidera un circuit electric alcătuit din „n" impedanţe conectate în derivaţie (fig.1) cu următoarele observaţii:

- căderile de tensiune pe cele „n" impedanţe conectate în derivaţie sunt egale

$$\underline{U_1} = \underline{U_2} = \underline{U_3} = \ldots\ldots = \underline{U_n} = \underline{U}$$

- intensităţile curenţilor electrici prin cele „n" impedanţe sunt diferite

$$I_1 \# I_2 \# I_3 \# \ \ldots\ldots \# I_n$$

Aplicând teorema I a lui Kirchhoff în nodul A, vom obţine:

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + \ldots\ldots + I_n \quad (1)$$

Expresiile intensităţilor curenţilor electrici pentru fiecare impedanţă în parte vor fi:

$$I_1 = \underline{U/Z_1}$$
$$I_2 = \underline{U/Z_2}$$
$$I_3 = \underline{U/Z_3}$$
'
' (2)
'
'
'

$\underline{I}_n = \underline{U}/\underline{Z}_n$

Înlocuind relațiile (2) în expresia (1) vom obține:

$\underline{I}_1 = \underline{U}/\underline{Z}_1 + \underline{U}/\underline{Z}_2 + \underline{U}/\underline{Z}_3 + ... + \underline{U}/\underline{Z}_n$

Înlocuind impedanțele în funcție de admitanțe rezultă:

$1/Z = Y$ $\quad \underline{I} = \underline{U}Y_1 + \underline{U}\underline{Y}_2 + \underline{U}\underline{Y}_3 + ... + \underline{U}\underline{Y}_n$

$$\underline{I} = \underline{U}\,(\underline{Y}_1 + \underline{Y}_2 + \underline{Y}_3 + ... + \underline{Y}_n) \qquad (3)$$

$$\underline{I}/\underline{U} = \underline{Y}_1 + \underline{Y}_2 + \underline{Y}_3 + ... + \underline{Y}_n$$

Cele „n" impedanțe conectate în derivație se pot înlocui cu o impedanță echivalentă în următoarele condiții:

- prin impedanța echivalentă circulă intensitate a curentului electric egală cu intensitatea curentului prin cele „n" impedanțe conectate în derivație;
- căderea de tensiune pe impedanța echivalentă este egală cucăderea de tensiune pe cele „n" impedanțe conectate în derivație.

Deci, raportul $\underline{I}/\underline{U}$ reprezintă admitanța echivalenă complexă a celor „n" impedanțe conectate în derivație ($\underline{Y}_e = \underline{I}/\underline{U}$).

Ținând cont de expresia admitanței complexe ($\underline{Y} = G + jB$) relația (3) devine:

$$\underline{Y}_e = G_1 + jB_1 + G_2 + jB_2 + G_3 + jB_3 + ... + G_n + jB_n$$

$$\underline{Y}_e = G_1 + G_2 + G_3 + ... + G_n + j(B_1 + B_2 + B_3 + ... + B_n)$$

$$\underline{Y}_e = G_k + jB_k$$

Deci impedanța echivalentă a celor „n" impedanțe conectate în derivație va fi:

$$\underline{Y}_e = G_e + j\,B_e$$

2. CHESTIUNI DE STUDIAT

a) Determinarea prin calcul a admitanței echivalente a „n" impedanțe conectate în derivație.

b) Determinarea experimentală a admitanţei echivalente a „n" impedanţe conectate în derivaţie.

c) Determinarea erorii relative între admitanţa echivalentă complexă determinată experimental şi admitanţa echivalentă complexă determinată prin calcul.

3. SCHEMA DE MONTAJ ŞI APARATELE DE MĂSURĂ UTILIZATE

ATR – autotransformator 8A, 220V
A – ampermetru 0÷5 V
V – voltmetru 0÷5 A
K – comutator
MB – macheta de bază
C_1, C_2 – condensatoare electrice C = 5μF)
R_1, R_2, R_3 – rezistenţe electrice (4 Ω / 1 KΩ / 2,2 Ω)
L_1, L_2 – bobine electrice cu inductivitatea de 10H

4. MODUL DE LUCRU

Se execută montajul din figura 2, cele trei impedanţe conectându-se în derivaţie şi fiind racordate la bornele secundare ale autotransformatorului variabil.

Se închide comutatorul K şi se alimentează schema de lucru a machetei cu trepte de tensiune de 50, 125, 150, 1785 şi 200 V, iar valorile obţinute ale curentului, tensiunii şi admitanţelor se trec în tabelul 1.

Se determină prin calculadmitanţa echivalentă a celor trei impedanţe conectate în derivaţie.

Se calculează eroarea de calcul dintre admitanţa complexă echivalentă determinată prin calcul şi admitanţa complexă echivalentă determinată pe cale experimentală.

5. TABELUL DE DATE ŞI REZULTATE OBŢINUTE

TABELUL 1

Nr. crt.	$\underline{U}$ [V]	$\underline{I}$ [A]	$\underline{Y}_{ec}$ [Ω]	$\underline{Y}_{ee}$ [Ω]		Obs.
1						
2						
3						
4						
5						
6						

Lucrarea nr.9

STUDIUL CIRCUITELOR DE CURENT ALTERNATIV TRIFAZAT ÎN REGIM PERMANENT SINUSOIDAL ÎN CONEXIUNE STEA

1. *Chestiuni teoretice*

Un sistem de trei circuite electrice în care acţionează trei tensiuni electromotoare alternative, cu aceeaşi frecvenţă, dar cu faze iniţiale diferite, formează un sistem trifazat de t.e.m., iar curenţii care circulă prin aceste circuite formează un sistem trifazat de curenţi.

Sistemele trifazate de mărimi pot fi simetrice sau nesimetrice. Sistemele sunt simetrice dacă au toate aceeaşi valoare efectivă, iar defazajele între două mărimi consecutive sunt egale cu $2\pi/3$.

Sistemele trifazate care nu îndeplinesc condiţiile de înainte sunt nesimetrice. Sistemele trifazate de mărimi, cele mai utilizate, sunt cele *simetrice de succesiune directă* pentru care succesiunea mărimilor din diagrama fazorială este spre dreapta, iar în complex apar sub forma:

$$\underline{U}_1=U;\ \underline{U}_2=\underline{U}_e^{-j\cdot\frac{2}{3}\pi};\ U_3=U_e^{j\cdot\frac{2}{3}\pi} \qquad (1)$$

Se mai utilizează *sistemele simetrice de succesiune inversă* (succesiunea mărimilor din diagrama fazorială este spre stânga) şi *omopolară* caracterizate prin expresiile:

$$\underline{U}_1=U;\ \underline{U}_2=a\cdot\underline{U}=U\cdot e^{-j\cdot\frac{2}{3}\pi};\ \underline{U}_3=a^2\cdot\underline{U}=\underline{U}\cdot e^{j\cdot\frac{2}{3}\pi} \qquad (2)$$

pentru succesiunea inversă şi:

$$\underline{U}_1=\underline{U}_2=\underline{U}_3=\underline{U} \qquad (3)$$

pentru sucesiunea omopolară.

Circuitele trifazate conțin generatoare și receptoare trifazate legate între ele prin linii electrice.

Se utilizează două moduri de conexiune ale circuitelor trifazate atât pentru generatoare cât și pentru receptoare:

- *conexiunea stea* (fig. 1), care se realizează legând bornele de sfârșit ale tuturor fazelor între ele, într-un punct comun numit *punct neutru*. Conductoarele ce leagă receptoarele de generator se numesc conductoare de linie.

Principalele relații între mărimile electrice corespunzătoare mei sunt:

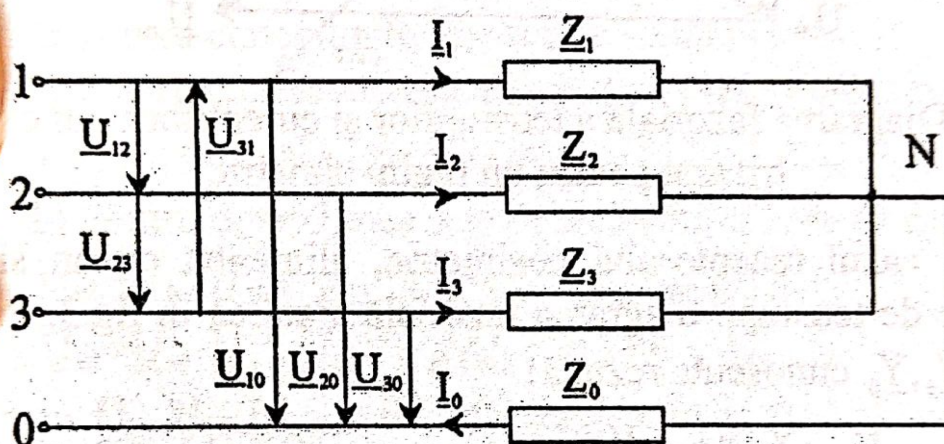


Fig. 1 Schema de principiu a unui sistem trifazat în conexiune „Y"

$$\underline{U}_{12}=\underline{U}_{10}-\underline{U}_{20};\ \underline{U}_{23}=\underline{U}_{20}-\underline{U}_{30};\ \underline{U}_{31}=\underline{U}_{30}-\underline{U}_{10}$$
$$\underline{I}_1+\underline{I}_2+\underline{I}_3=\underline{I}_0 \qquad (4)$$

Pentru un receptor echilibrat (impedanțele pe fiecare fază egale), alimentat cu un sistem de tensiuni simetrice, legat în conexiune stea, diagrama fazorială a curenților și tensiunilor arată ca în fig. 2.

$$U_{10}=U_{20}=U_{30}=U=U_f$$
$$U_{12}=U_{23}-U_{31}=U_1=\sqrt{3}\cdot U_f \qquad (5)$$
$$I_1=I_2=I_3=I=I_1$$

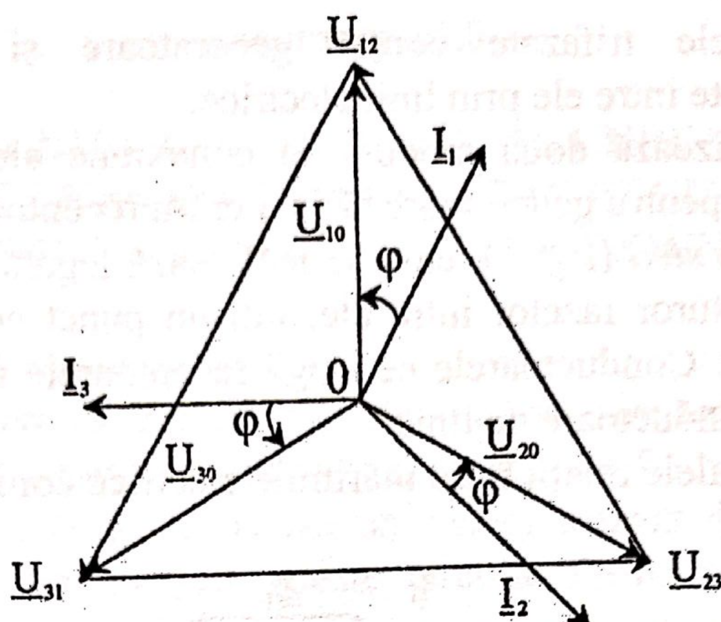


Fig. 2 Diagrama fazorială a tensiunilor şi curenţilor unui circuit trifazat pentru un regim simetric

În cazul receptorului nesimetric, alimentat cu un sistem simetric de tensiuni, diagrama fazorială arată ca în fig.3. Pentru $\underline{Y}_1, \underline{Y}_2, \underline{Y}_3, \underline{Y}_0$ cunoscute rezultă:

$$\underline{U}_n = \frac{\underline{U}_{10} \cdot \underline{Y}_1 + \underline{U}_{20} \cdot \underline{Y}_2 + \underline{U}_{30} \cdot \underline{Y}_3}{\underline{Y}_1 + \underline{Y}_2 + \underline{Y}_3 + \underline{Y}_0} \qquad (6)$$

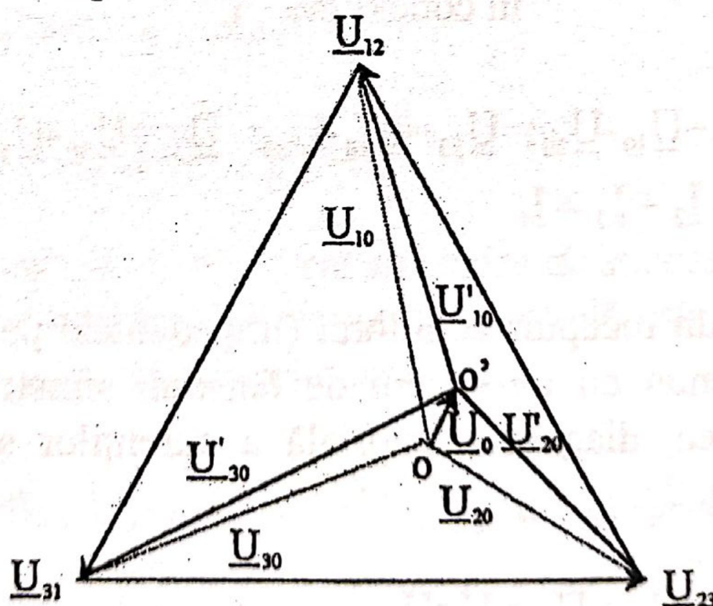


Fig. 3 Diagrama fazorială a tensiunilor pentru un regim nesimetric

2. *Chestiuni de studiat*

Se determină experimental curenţii de linie şi de fază şi tensiunile de linie şi de fază pentru un receptor trifazat pur rezistiv. Se studiază cazul conectării în stea a receptorului (regim simetric, regim dezechilibrat fără fir neutru, dezechilibrat cu fir neutru de rezistenţă practic nulă) şi cazul conexiunii în triunghi a receptorului (regim simetric şi regim dezechilibrat). Pe baza datelor obţinute se desenează diagramele fazoriale prezentate în partea teoretică.

Pe aceste diagrame se verifică principalele relaţii (4, 5) stabilite pentru conexiunile respective şi anume:

a) Pentru conexiunea stea simetrică (valori efective)

$$U_1=U_{12}=U_{23}=U_{31}=\sqrt{3}\cdot U_f=\sqrt{3}\cdot U_{10}=\sqrt{3}\cdot U_{20}=\sqrt{3}\cdot U_{30}$$

b) Pentru conexiunea stea dezechilibrată fără fir neutru

$$\underline{U}_{12}=\underline{U}_{10}-\underline{U}_{20};\ \underline{U}_{23}=\underline{U}_{20}-\underline{U}_{30};\ \underline{U}_{31}=\underline{U}_{30}-\underline{U}_{10}$$

$$\underline{U}_{10}=\underline{U}_{10}-\underline{U}_{n};\ \underline{U}_{20}=\underline{U}_{20}-\underline{U}_{n};\ \underline{U}_{30}=\underline{U}_{30}-\underline{U}_{n}$$

unde cu $\underline{U}_{10},\underline{U}_{20},\underline{U}_{30}$, s-au notat tensiunile de fază ale reţelei, iar prin $\underline{U}_1,\underline{U}_2,\underline{U}_3$ tensiunile de fază ale receptorului. Se va verifica dacă segmentul 00' (fig. 3) între puntele comune ale fazorilor are lungimea multiplicată cu scara tensiunilor, egală cu valoarea măsurată U_0 între neutrul reţelei şi al receptorului.

c) Pentru conexiunea stea dezechilibrată cu fir neutre de rezistenţă neglijabilă vom aplica teorema I a lui Kirckkoff in nodul N si vom obtine

$$\underline{I}_1+\underline{I}_2+\underline{I}_3=\underline{I}_0$$

Diagrama fazorilor curenţilor se construieşte simplu deoarece aceştia se suprapun ca origine şi direcţie cu fazorii tensiunilor care formează un sistem simetric. Se va verifica dacă suma vectorială a acestor curenţi are modulul egal cu valoarea măsurată I_0 a curentului din firul neutru.

d) Pentru conexiunea stea simetrică

$$I_1=I_2=I_3=\sqrt{3}\cdot I_f=\sqrt{3}\cdot I_1=\sqrt{3}\cdot I_2=\sqrt{3}\cdot I_3$$

3. *Scheme experimentale şi aparate de măsură utilizate:*

Pentru determinarea experimentală a parametrilor unui circuit trifazat în conexiune stea se utilizează schema din figura 4:

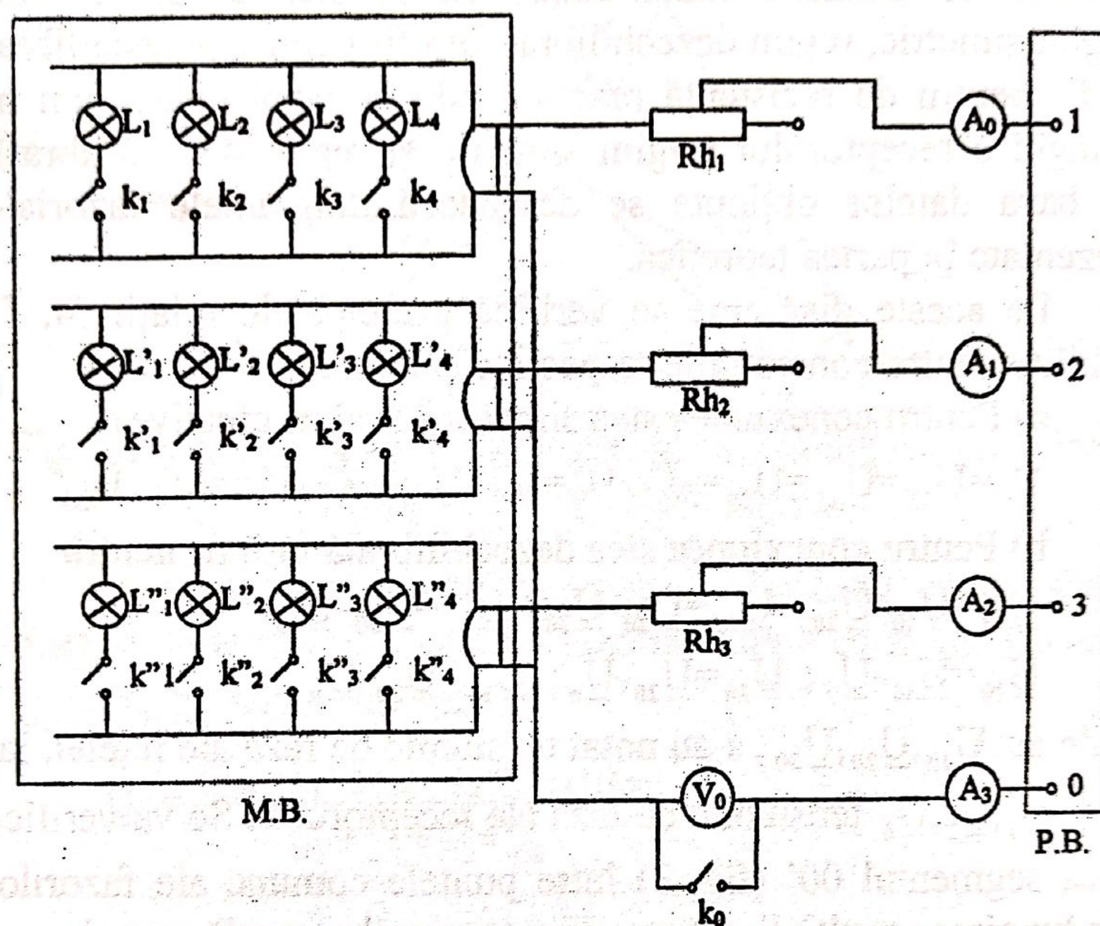


Fig. 4 Schema de lucru a unui circuit trifazat în conexiune stea

P.B. – placă de borne, de unde se alimentează schema

M.B. – montaj format din coloane de câte 4 becuri identice, în paralel cu întrerupătoarele individuale (de utilizează numai la conexiunea stea).

R_{h1} R_{h2}, R_{h3} – reostate de 30Ω, 5A;

R_1, R_2, R_3 – reostate de câte două coloane, 2x105Ω, 2,5A (se utilizează numai la conexiunea triunghi);

A_1, A_2, A_3 – ampermetre (MAVO 35);

A_4, A_5, A_6 – ampermetre electromagnetice, 10 A (se utilizează numai la conexiunea stea);

A_0 – ampermetru (MAVO 35), 1,5A (se utilizează numai la conexiunea stea);

K_0 – întrerupător;

V_0 – (MAVO 35) utilizat ca voltmetru;

V – voltmetru electromagnetic, de tensiune 500V pentru măsurarea tensiunilor de fază şi de linie. Acesta se utilizează numai în momentul măsurării.

4. *Modul de lucru*

a) Sarcina echilibrată (simetrică) în conexiunea stea.

Se execută montajul din fig. 6 şi se introduc toate cele 4 becuri în circuit la fiecare din cele trei faze. Reostatele R_{h1}, R_{h2}, R_{h3} se vor pune pe rezistenţa maximă pentru protejarea instalaţiei. Dacă nu se obţin curenţi egali pe cele trei ampermetre, se reglează rezistenţa reostatelor pe faze până când este îndeplinită această condiţie. Se verifică dacă indicaţia lui A_0 cu k_0 închis este de asemenea practic nulă şi dacă indicaţia lui V_0 este de asemenea aproape nulă (maxim 3V).

Se măsoară cu voltmetrul V, la placa de alimentare, toate tensiunile de fază şi de linie.

b) Sarcina dezechilibrată în conexiunea stea fără fir neutru. Se execută cu acelaşi montaj ca la punctul a) întrerupătorul k_0 fiind deschis, se sting o parte din becuri astfel încât numărul becurilor aprinse să difere de la o fază la alta. La deschiderea lui k_0 neutrul receptorului este izolat faţă de cel al reţelei (rezistenţa voltmetrului V_0 fiind foarte mare) iar voltmetrul V_0 măsoară tensiunea între cele două puncte neutre O şi O'. După crearea dezechilibrului se măsoară noile tensiuni de fază ale receptorului dezechilibrat în ansamblu (incluzând şi reostatele R_h), punând o sondă a voltmetrului portabil pe o bornă aparţinând neutrului receptorului de exemplu borna lui k_0 legată la cele trei coloane de becuri iar cealaltă sondă pe rând la bornele 1, 2, 3 ale plăcii de alimentare. Se citesc de asemenea tensiunile simetrice de linie între bornele 1, 2, 3 ale plăcii de alimentare. Se citesc de asemenea tensiunile simetrice de linie între bornele 1, 2, 3 ale plăcii luate câte două, deoarece este posibil ca tensiunea reţelei

să aibă variații. Se notează tensiunea U_0 indicată la voltmetrul V_0.

c) Sarcina dezechilibrată în conexiunea stea cu fir neutru

Montajul anterior rămâne nemodificat, cu un număr diferit de becuri pe cele trei faze, dar cu întrerupătorul k_0 închis.

Se citesc I1, I2, I3 şi I0. De data aceasta tensiunile de fază şi de linie ale receptorului în ansamblu sunt simetrice ca la puntul a). Se verifică acest lucru efectuând măsurătorilor la placa de borne cu voltmetrul portabil.

Pentru completarea diagramei fazoriale a tensiunilor de linie şi de fază ale receptorului format numai din coloane de becuri se măsoară direct la bornele plăcii M.B. tensiunea de fază şi de linie, precum şi curenţii I_1, I_2, I_3.

5. *Tabele de date şi rezultate:*

Cu rezultatele obţinute se va întocmi următorul tabel de date:

Tabelul 1

Receptor	I_1 [A]	I_2 [A]	I_3 [A]	U_1 [V]	U_2 [V]	U_3 [V]	U_{12} [V]	U_{23} [V]	U_{31} [V]	U_n[V]		I_n[V]	
										măs	graf	măs	graf
Echilibrat Cu fir de Nul													
Echilibrat Fără fir de Nul													
Dezechilibrat Fără fir de Nul													
Dezechilibrat Cu fir de Nul													

Lucrarea nr. 10
STUDIUL CIRCUITELOR DE CURENT ALTERNATIV TRIFAZAT ÎN REGIM PERMANENT SINUSOIDAL ÎN CONEXIUNE TRIUNGHI

1. *Chestiuni teoretice*

Se consideră trei circuite electrice racordate la trei tensiuni alternative, de aceeaşi frecvenţă, dar cu faze iniţiale diferite formând un sistem trifazat de tensiuni, iar curenţii ce circulă prin cele trei circuite alcătuiesc un sistem trifazat de curenţi. Sisteme trifazate de mărimi pot fi simetrice (dacă au toate aceeaşi valoare efectivă, iar defazajele între două mărimi consecutive sunt egale cu $2\pi/3$) sau nesimetrice (la care mărimile nu au aceeaşi valoare efectică).

1.1. Conexiunea triunghi

Conexiunea triunghi (fig.1) care se realizează legând sfârşitul unei faze cu începutul fazei următoare, punctele comune la două faze fiind borne propriu zise ale receptorului

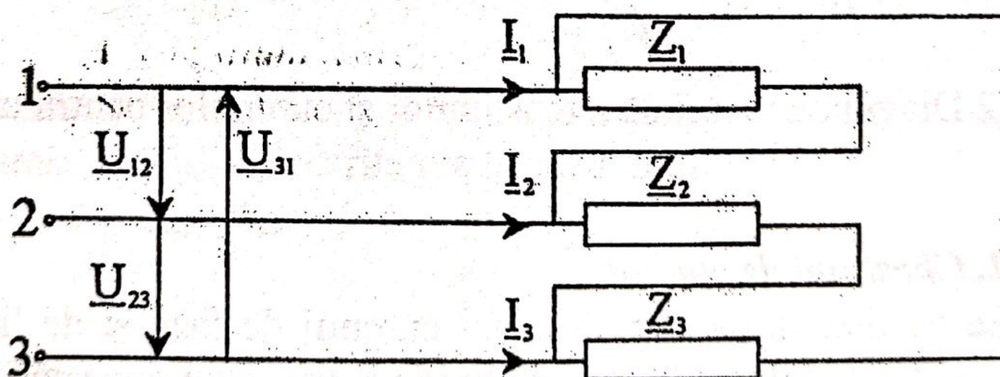


Fig.1. Schema de principiu a unui circuit trifazat în conexiune triunghi

Principalele relaţii între mărimile electrice corespunzătoare schemei sunt:

$$\underline{I}_1=\underline{I}_{12}-\underline{I}_{31};\ \underline{I}_2=\underline{I}_{23}-\underline{I}_{12};\ \underline{I}_3=\underline{I}_{31}-\underline{I}_{23} \qquad (1)$$

Tensiunile $\underline{U}_{12}, \underline{U}_{23}, \underline{U}_{31}$ sunt şi tensiuni de fază ale receptorului.

Pentru un receptor echilibrat legat în conexiune triunghi alimentat cu un sistem simetric de tensiuni, diagrama fazorială arată ca în fig.5.

$$I_{12}=I_{23}=I_{31}=I_f$$

$$I_1=I_2=I_3=I_l=\sqrt{3}\cdot I_f \quad (2)$$

$$U_{12}=U_{23}=U_{31}=U_f=U_l$$

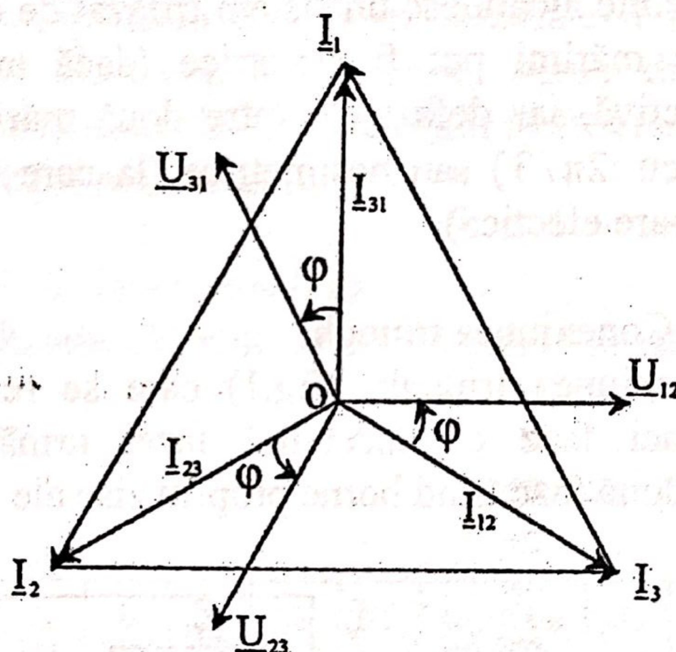


Fig. 2 Diagrama fazorială a tensiunilor şi curenţilor pentru un circuit trifazat simetric

2. *Chestiuni de studiat*

Se va determina experimental curenţii de fază şi de linie precum şi tensiunile de fază şi de linie pentru cazul conectării în triunghi a unui receptor pentru un regim simetric şi dezechilibrat

Pentru triunghi dezechilibrat aplicând teorema I a lui Kirckkoff, vom obţine curenţii de fază în funcţie de curenţii de linie pentru nodurile 1, 2 şi 3:

$$\underline{I}_1=\underline{I}_{12}-\underline{I}_{31}\ ;\ \underline{I}_2=\underline{I}_{23}-\underline{I}_{12}\ ;\ \underline{I}_3=\underline{I}_{31}-\underline{I}_{23}$$

3. *Scheme experimentale şi aparate de măsură utilizate:*
Pentru conexiunea triunghi se utilizează schema din fig. 3

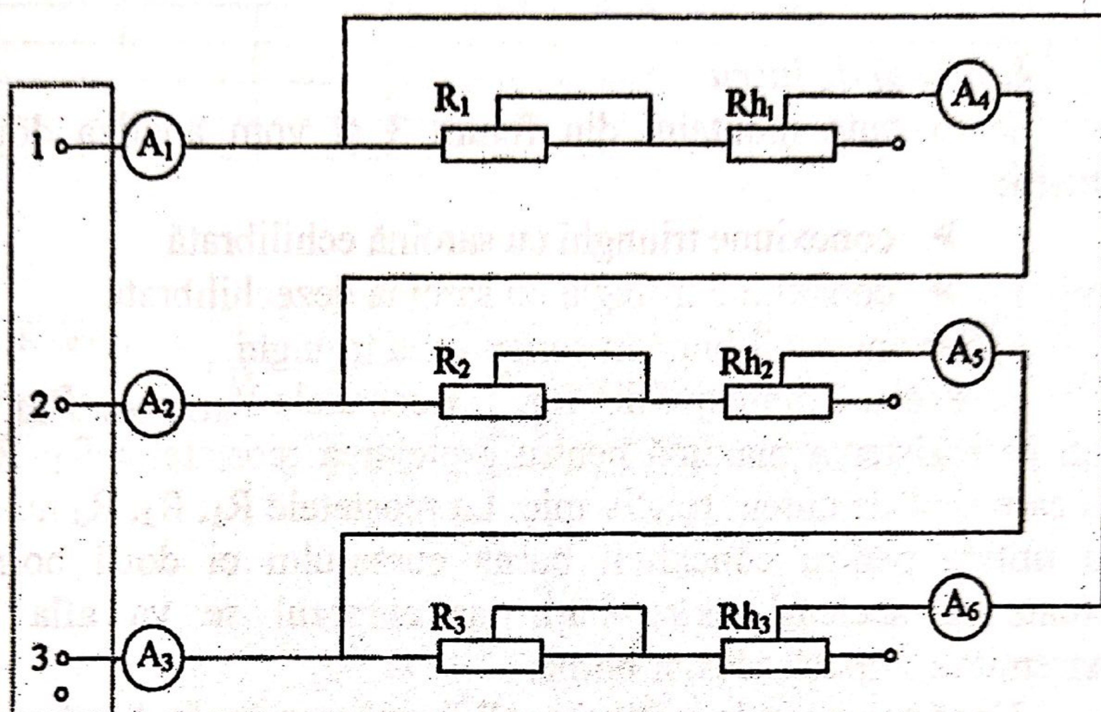


Fig. 3 Schema de lucru a unui circuit trifazat
în conexiune triunghi

P.B. – placă de borne, de unde se alimentează schema

M.B. – montaj format din coloane de câte 4 becuri identice, în paralel cu întrerupătoarele individuale (de utilizează numai la conexiunea stea).

R_{h1} R_{h2}, R_{h3} – reostate de 30Ω, 5A;

R_1, R_2, R_3 – reostate de câte două coloane, 2x105Ω, 2,5A (se utilizează numai la conexiunea triunghi);

A_1, A_2, A_3 – ampermetre (MAVO 35);

A_4, A_5, A_6 – ampermetre electromagnetice, 10 A (se utilizează numai la conexiunea stea);

A_0 – ampermetru (MAVO 35), 1,5A (se utilizează numai la conexiunea stea);

K_0 – întrerupător;

V_0 – (MAVO 35) utilizat ca voltmetru;

V – voltmetru electromagnetic, de tensiune 500V pentru măsurarea tensiunilor de fază şi de linie. Acesta se utilizează numai în momentul măsurării.

4. *Modul de lucru*

Se execută montajul din figura 3 şi vom analiza două situaţii:

- conexiune triunghi cu sarcină echilibrată
- conexiune triunghi cu sarcină dezechilibrată

a) Sarcina echilibrată în conexiunea triunghi

Se execută montajul din fig. 3. Reostatele R_{h1}, R_{h2}, R_{h3} se pun pe rezistenţa maximă pentru protejarea reostatelor R_1, R_2, R_3 care sunt de curent relativ mic. La reostatele R_1, R_2, R_3 nu se va utiliza pentru conexiuni borna cursorului ci două borne situate la aceleaşi extremităţi, iar cursorul se va afla la extremitatea opusă acestor borne.

Dacă nu se obţin curenţi egali la ampermetrele A_1, A_2, A_3 se variază rezistenţele unora din reostatele R_{h1}, R_{h2}, R_{h3} cu ajutorul cursoarelor acestora până se obţine egalitatea.

Se citesc curenţii de fază I_{12}, I_{21}, I_{13} indicaţi de A_1, A_2, A3 şi curenţii de linie I_1, I_2, I_3 indicaţi de A_4, A_5, A_6.

b) Sarcina dezechilibrată în conexiunea triunghi.

Cu aceeaşi schemă ca la punctul a) se micşorează cu ajutorul cursorului rezistenţa la două din reostatele R_1, R_2, R_3 astfel încât curentul maxim indicat de ampermetrele A_1, A_2, A_3 să nu depăşească 2,5 – 3 V.

Se citesc curenţii de fază şi de linie în acest regim nesimetric. Se măsoară tensiunile de linie la placa de borne de alimentare.

5. *Tabele de date şi rezultate:*

Cu rezultatele experimental obţinute se vor întocmi următoarele tabele de date:

Tabelul 1

U'_1[V]	U'_2[V]	U'_3[V]	U'_{12}[V]		U'_{23}[V]		U'_{31}[V]	
			măs	graf	măs	graf	măs	graf

Tabelul 2

Receptor	U_{12} [V]	U_{21} [V]	U_{31} [V]	I_{12} [A]	I_{21} [A]	I_{31} [A]	I_1[A]		I_2[A]		I_3[A]	
							măs	graf	măs	graf	măs	graf
Echilibrat												
Dezechilibrat												

Lucrarea nr. 11
STUDIUL CIRCUITULUI CU REZONANȚĂ DE CURENT

1. *Chestiuni teoretice*

În lucrare se studiază un circuit paralel, alcătuit dintr-o bobină cu miez de fier cu inductivitatea reglabilă și un condensator fără pierderi, alimentat cu o tensiune alternativă sinusoidală cu valoare efectivă și frecvență constante în timp. Într-un asemenea circuit se poate pune în evidență rezonanța curenților.

Se consideră circuitul din fig.1, format dintr-o bobină cu miez de fier, conectată în paralel cu un condensator practic ideal (fără pierderi), de susceptanță $B_C=C\omega$.

Bobina reală, cu pierderi, poate fi reprezentată:

- fie printr-un circuit echivalent serie (fig. 1,a), caracterizat prin impedanța complexă echivalentă

$$\underline{Z}_1=R_L+j\cdot X_L \qquad (1)$$

respectiv prin rezistența echivalent R_L și prin reactanța echivalentă $X_L>0$;

- fie printr-un circuit echivalent paralel (fig. 1,b), caracterizat prin admitanța complexă echivalentă:

$$\underline{Z}_L=G_L+j\cdot B_L \qquad (2)$$

respectiv prin conductanța echivalentă G_L și prin susceptanța echivalentă $B_L<0$.

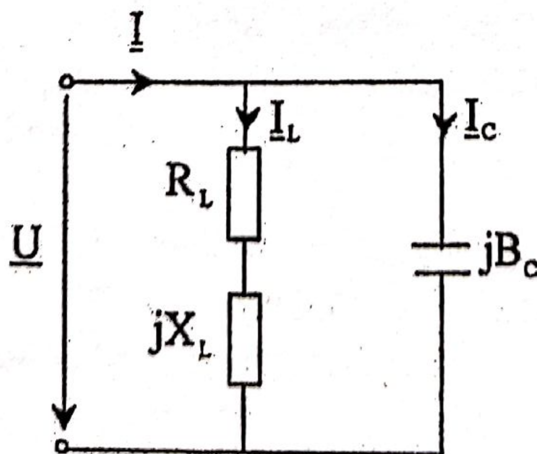


Fig.1 a)

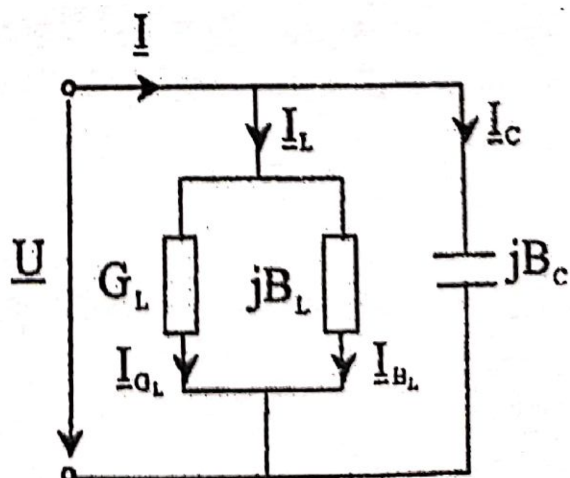


Fig.1 b)

Fig.1 a) – circuit echivalent serie

b) – circuit echivalent paralel

Între parametrii celor două circuite echivalente există relațiile complexe:

$$\underline{Z}=R_L+j\cdot X_L=\frac{1}{\underline{Y}}=G_L+j\cdot B_L \qquad (3)$$

sau relațiile echivalente

$$R_L=\frac{G_L}{G_L^2+B_L^2},\quad X_L=\frac{-B_L}{G_L^2+B_L^2} \qquad (4)$$

$$G_L=\frac{R_L}{R_L^2+X_L^2},\quad B_L=\frac{-X_L}{R_L^2+X_L^2} \qquad (5)$$

Observație. În cazul bobinei realizate cu conductorul filiform fără miez de fier, rezistența echivalentă R_L reprezintă chiar rezistența firului bobinei, iar reactanța echivalentă $X_L=L_\omega$, unde L este inductivitatea bobinei; această relație arată modul în care variază reactanța bobinei în funcție de frecvență. Parametrii circuitului echivalent paralel rezultă din relațiile (5), iar reprezentarea circuitului paralel printr-un rezistor de conductanță G_L și a unei bobine ideale de susceptanță $B_L=-1/L'_\omega$ nu este corectă decât pentru o singură valoare a frecvenței. În cazul bobinei cu miez de fier, în care se produc pierderi (prin fenomenul histerezis și prin curenții turbionari) nici unui parametru din cele două circuite echivalente nu i se poate da o interpretare atât de simplă ca pentru bobina fără miez de fier, parametrii rezultând din echivalări corespunzătoare unor transfigurări succesive ale unor circuite mixte, mai complicate.

Considerând bobina reprezentată prin circuitul echivalent paralel (fig. 1,b), rezultă următoarele relații între curenți.

$$\underline{I}=\underline{I}_L+\underline{I}_C=\underline{I}_{G_L}+\underline{I}_{B_L}+\underline{I}_C=G_L\cdot\underline{U}+j\cdot B_L\cdot\underline{U}+j\cdot B_C\cdot\underline{U} \qquad (6)$$

sau

$$\underline{I}=\left[G_L+j\cdot(B_L+B_C)\right]\cdot\underline{U} \qquad (7)$$

Dacă se introduc relaţiile:

$$G_e = G_L \text{ (conductanţa echivalentă)} \qquad (8)$$

$$B_e = B_L + B_C \text{ (susceptanţa echivalentă)} \qquad (9)$$

se obţine curentul în forma

$$\underline{I} = \left(G_e + j \cdot B_e\right) \cdot \underline{U} = \underline{Y}_e \cdot \underline{U} \qquad (10)$$

unde

$$Y_e = G_e + j \cdot B_e \qquad (11)$$

este admitanţa complexă echivalentă a circuitului.

Relaţiei (10) îi corespunde circuitul echivalent din fig.1.c, în care sunt separate componentele active şi reactive ale curentului.

Valoarea efectivă a curentului este:

$$I = U \cdot Y_e = U \cdot \sqrt{G_e^2 + B_e^2} = U \cdot \sqrt{G_L^2 + \left(B_L + B_C\right)^2} \qquad (12)$$

iar defazajul curentului faţă de tensiune este:

$$\varphi = -\text{arctg}\frac{B_e}{G_e} = -\text{arctg}\frac{B_L + B_C}{G_L} \qquad (13)$$

Întrucât susceptanţa echivalentă a bobinei este negativă, iar susceptanţa echivalentă a condensatorului este pozitivă, rezultă următoarele:

- circuitul este inductiv ($\varphi > 0$) dacă $B_C < |B_L|$;
- circuitul este capacitiv ($\varphi > 0$) dacă $B_C > |B_L|$;
- circuitul se comportă rezistiv ($\varphi = 0$) dacă $B_C = |B_L|$; în acest caz mai avem relaţiile $I_{BL} = I_C$ şi în circuit se realizează starea de rezonanţă a curenţilor. Curentul circuitului este în fază cu tensiunea la borne.

Dacă diferitele regimuri de funcţionare se realizează prin modificarea inductivităţii bobinei în cazul alimentării circuitului la tensiunea U constantă, curentul I al circuitului, curentul I_L al bobinei şi curentul I_C al condensatorului variază în funcţie de susceptanţa echivalentă $|B_L|$ a bobinei conform graficelor din fig.2.

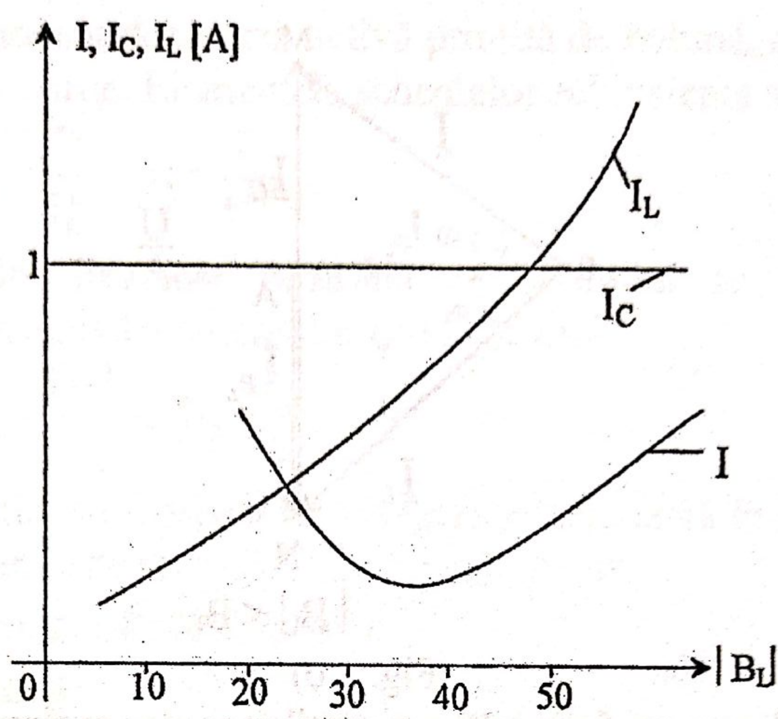


Fig. 2 Reprezentarea caracteristicilor $I=f(B_L)$, $I_C=f(B_L)$, $I_L=f(B_L)$

În figura 3 se prezintă diagramele fazoriale ale curenților, considerând faza tensiunii la bornele circuitului ca origine a fazelor.

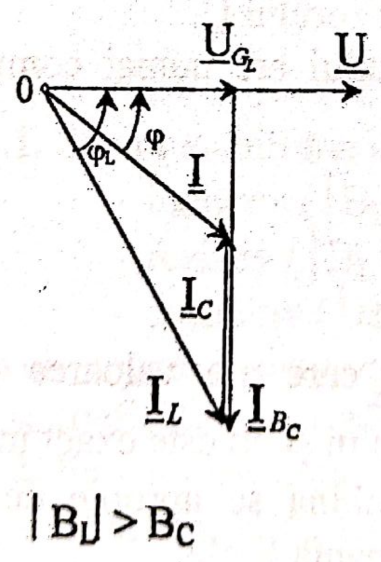


Fig. 3 a)

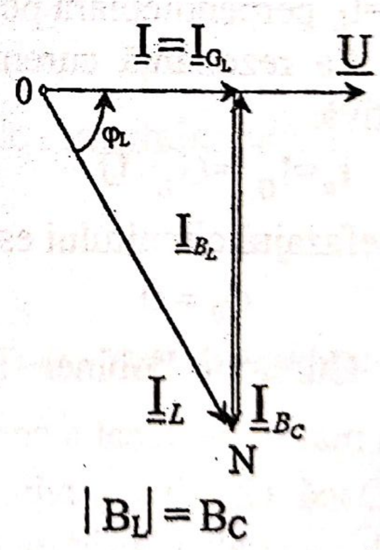


Fig. 3 b)

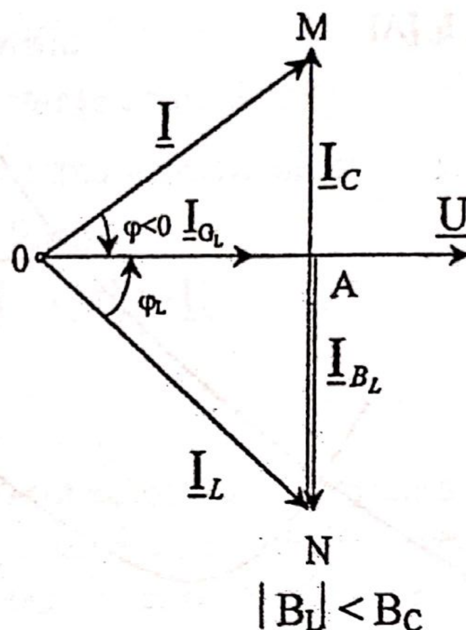


Fig. 3 c)

Fig.3a)–diagrama fazorială a curenților pentru regimul inductiv
3b)-diagrama fazorială a curenților pentru regimul rezistiv
3c)- diagrama fazorială a curenților pentru regimul capacitiv

Pentru a construi diagramele fazoriale cu valori măsurate ale curenților alegând tensiunea ca origine a fazelor se construiește, la scară, triunghiul OMN al curenților cu latura $MN=I_C$ perpendiculară pe direcția fazorului $\underline{U}$.

La rezonanță curentul circuitului are numai componentă reactivă:

$$I_0=I_{G_L}=G_L \cdot U$$

iar defazajul circuitului este nul:

$$\varphi_0=0$$

Curentul bobinei $\underline{I}_L=\underline{I}_{G_L}+\underline{I}_{B_L}$ care are valoarea efectivă ceva mai mare decât a condensatorului și nu este exact în fază cu el. Dacă $G>>|B_L|$, adică dacă bobina se apropie de bobina ideală se poate considera că la rezonanță $I_L=I_C$.

Rezistența echivalentă serie a bobinei R_L nu este riguros constantă în raport cu poziția miezului de fier al bobinei.

Oricare ar fi natura circuitului, rezistența echivalentă serie R_L și conductanța echivalentă paralel G_L se pot determina astfel:

a) Se măsoară puterea activă primită de bobină, curentul şi tensiunea la borne. Elementele schemelor echivalente sunt:

$$R_L = \frac{P}{I_L^2};\ G_L = \frac{P}{U^2}$$

b) Din diagrama fazorială a circuitului se determină componenta activă a curentului I_a=0A şi apoi

$$R_L = \frac{U \cdot I_a}{I_L^2};\ G_L = \frac{I_a}{U} \quad (14)$$

c) Aplicând teorema lui Pitagora generalizată în triunghiul OMN se stabileşte relaţia:

$$I^2 = I_L^2 + I_C^2 + 2I_L I_C \cos\varphi_L \quad (15)$$

de unde rezultă:

$$\cos\varphi_L = \frac{I^2 - I_L^2 - I_C^2}{2I_L I_C}$$

şi apoi

$$R_L = Z_L \cdot \cos\varphi_L = \frac{U}{I_L} \cdot \cos\varphi_L;\ G_L = Y_L \cdot \cos\varphi_L = \frac{I_L}{U} \cdot \cos\varphi_L \quad (16)$$

2. *Chestiuni de studiat*

2.1. Se vor stabili trei regimuri ale circuitului paralel:

- inductiv ($|B_L|=1,2B_C$);
- rezistiv ($|B_L|=B_C$);
- capacitiv ($|B_L|=0,6B_C$);

şi se vor construi diagramele fazoriale corespunzătoare (se indică un coeficient de scară de 0,2 A/cm).

2.2. Se vor determina experimental caracteristicile $I=f(B_L)$, $I_C=f(B_L)$, $I_L=f(B_L)$ şi se vor construi graficele corespunzătoare pe aceeaşi figură.

3. *Scheme experimentale şi aparate de măsură utilizate*

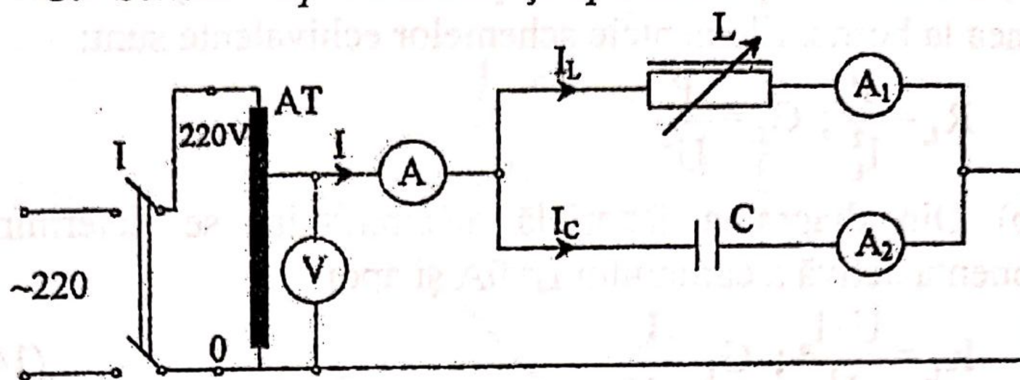


Fig. 4 Schema de lucru pentru determinarea celor trei regimuri de funcţionare

Aparate de măsură utilizate:

AT	- autotransformator reglabil tip ATR – 8;
I	- întrerupător bipolar manual;
A, A1, A2	- ampermetre de c.a. (MAVO 35, UNITRA);
V	- voltmetru (MAVO 35, UNITRA);
L	- bobină cu miez de fier;
C	- condensator electric de 7,5μF (se conectează două condensatoare de 3,75 μF în paralel).

4. *Modul de lucru*

Se realizează montajul din figura 5. Cu autotransformatorul pe poziţia de tensiune secundară nulă şi cu miezul de fier introdus complet în bobină, se alimentează montajul, mai întâi de la pupitru şi apoi prin închiderea întrerupătorului I. Se stabileşte şa început regimul de rezonanţă al circuitului (recunoscut prin valoarea minimă a intensităţii curentului I) în scopul de a alege pentru tensiunea de alimentare o valoare convenabilă (I să poată fi determinat cu eroare de indicare mică). Tensiunea de alimentare va fi cuprinsă în limitele 30 – 50V.

Din măsurile efectuate la rezonanţă se determină şi rezistenţa bobinei R_L care se trece în antetul tabelului 1.

Fără a modifica tensiunea de alimentare se realizează apoi regimul inductiv şi capacitiv al circuitului paralel. Regimul inductiv se obţine prin scăderea reactanţei bobinei (se scoate miezul de fier) iar cel capacitiv prin creşterea reactanţei bobinei (se introduce miezul de fier). Deplasarea miezului de fier de o parte şi cealaltă a poziţiei ce corespunde stării de rezonanţă se face astfel încât curentul I să varieze în trepte de 0,1A. Se vor face câte 5 – 6 măsurări pentru fiecare regim în parte. Cu rezultatele măsurătorilor şi rezultatele de calcul se completează tabelul 1.

5. *Tabele cu valori măsurate şi rezultate de calcul*

Tabelul 1

Regim	**Valori măsurate**			**Valori calculate**						
	I [A]	**I_L [A]**	**I_C [A]**	**X_L [Ω]**	**G_L [mS]**	**B_L [mS]**	**B_C [mS]**	**$B_e=B_L+B_C$**	**φ grade**	**φ rad.**
inductiv										
Rez										
Capacitiv										

Lucrarea nr. 12

CÂMPUL MAGNETIC ÎNVÂRTITOR

1. *Chestiuni teoretice*

Un câmp magnetic, caracterizat prin vectorul inducţiei magnetice $\overline{B}$ este rotitor (învârtitor), dacă acest vector îşi păstrează modulul constant şi se roteşte în spaţiu cu viteza unghiulară constantă ω (fig.1). Proiecţiile acestui vector pe cele două axe sunt:

$$B_x = B \cdot \sin\omega t$$
$$B_y = B \cdot \cos\omega t \quad (1)$$

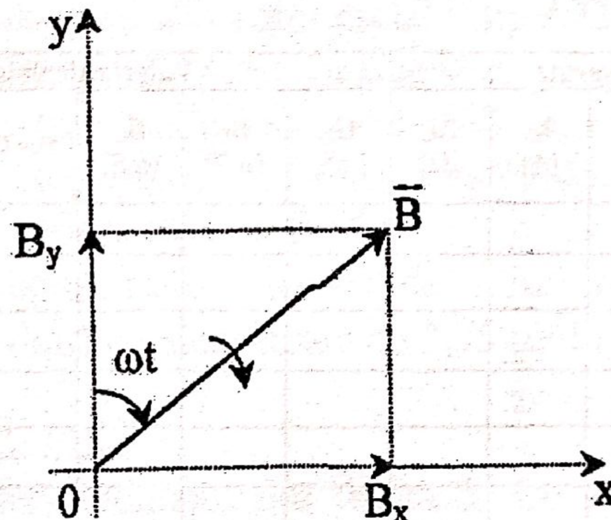


Fig. 1 Proiecţia vectorului inducţie magnetică

Câmpul magnetic învârtitor poate fi produs fie cu ajutorul dispozitivelor rotitoare care produc câmpuri magnetice cu mărime constantă în timp (o bobină parcursă de curent continuu, care se roteşte uniform), fie cu dispozitivele producătoare de câmp magnetic fix în spaţiu şi variabil în timp. Lucrarea de faţă are în vedere cel de-al doilea mod de producere al câmpului magnetic învârtitor.

Un sistem trifazat de curenţi sinusoidali pot produce un câmp magnetic învârtitor.

Se consideră trei bobine identice dispuse în spaţiu la unghiuri de $\frac{2\pi}{3}$ unele faţă de altele şi prin care circulă curenţii:

$$i_1=\sqrt{2}\cdot I\cdot \sin\omega t$$
$$i_2=\sqrt{2}\cdot I\cdot \sin\left(\omega t-\frac{2\pi}{3}\right) \quad (2)$$
$$i_3=\sqrt{2}\cdot I\cdot \sin\left(\omega t+\frac{2\pi}{3}\right)$$

care formează un sistem trifazat simetric direct. Aceşti curenţi produc fiecare, în punctul 0, inducţiile magnetice (fig.2):

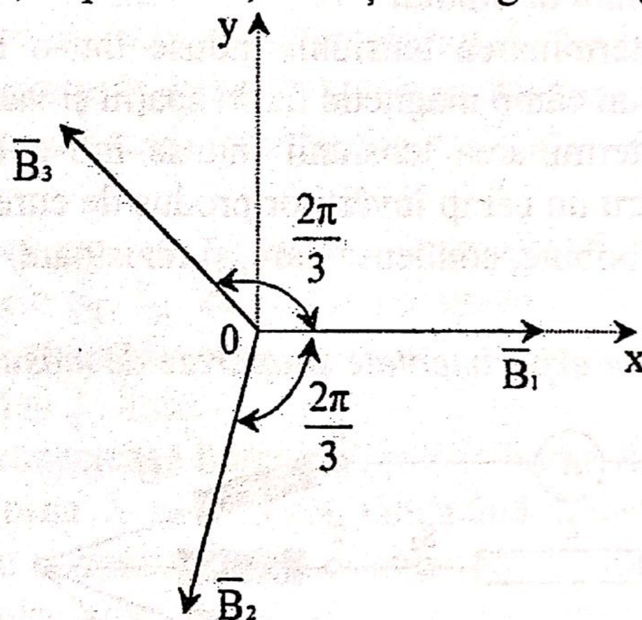


Fig. 2 Diagrama fazorială a inducţiilor magnetice

$$B_1=B_m\cdot \sin\omega t$$
$$B_2=B_m\cdot \sin\left(\omega t+\frac{2\pi}{3}\right) \quad (3)$$
$$B_3=B_m\cdot \sin\left(\omega t-\frac{2\pi}{3}\right)$$

variabile în timp, şi dirijate normal pe axele bobinelor. Aceste trei inducţii se compun şi dau inducţia rezultantă $\overline{B}$, care are componentele:

$$B_x = B_1 + B_2 \cdot \cos\frac{2\pi}{3} + B_3 \cdot \cos\frac{2\pi}{3} = \frac{3}{2} \cdot B_m \cdot \sin\omega t$$
$$B_y = B_3 \cdot \sin\frac{2\pi}{3} - B_2 \cdot \sin\frac{2\pi}{3} = \frac{3}{2} \cdot B_m \cdot \cos\omega t \qquad (4)$$

Rezultă că prin acest procedeu se ovține o inducție magnetică egală cu $\frac{3}{2}B_m$ care se roteşte în spaţiu cu viteza unghiulară ω, deci câmpul rezultant este un câmp învârtitor.

2. *Chestiuni de studiat*

2.1. Determinarea tensiunii induse într-o bobină cu axa variabilă într-un câmp magnetic fix în spațiu şi variabil în timp.

2.2. Determinarea tensiunii induse într-o bobină cu axa variabilă pentru un câmp învârtitor produs de curenți defazați cu ajutorul unor bobine, condensatoare, şi rezistoare.

3. *Scheme experimentale şi aparate de măsură utilizate*

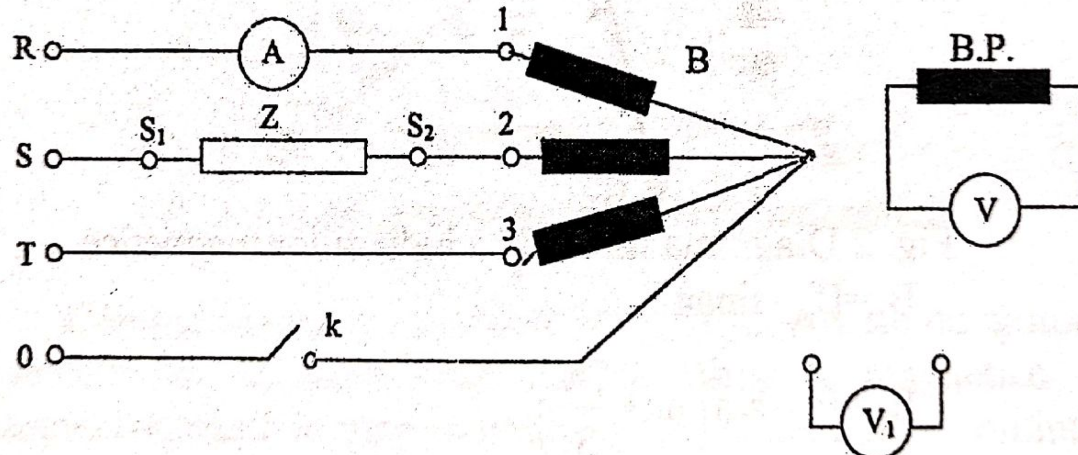


Fig. 3 Schema de lucru pentru determinarea tensiunii induse în bobina de probă

B – grup de trei bobine identice, decalate reciproc în spaţiu cu 120°;

B.P. – bobină de probă rotativă;

Z	–	impedanță (condensator C=2μF, bobină reostat R=2 x 3500Ω, 0,4A);
A	–	MAVO 35, (0,1A);
V	–	voltmetru 3 V;
V_1	–	voltmetru 400 V;
K	–	întrerupător monopolar.

4. *Modul de lucru*

4.1. Se execută schema din figura anterioară. Pentru punctul 2.1. se leagă numai faza R, alimentându-se numai o bobină cu k închis.

Se citeşte indicația voltmetrului V la interval de maxim 30°. Se notează indicația ampermetrului A. Se închide k, după deschiderea întrerupătorului de la tablou. Se conectează fazele R şi T. Se efectuează aceleaşi măsurători, citindu-se în plus V_{10} şi V_{20}.

4.2. Se conectează la tablou bornele R, S, T. Se scurtcircuitează bornele S_1, S_2. se obține un sistem trifazat simetric de curenți. Se efectuează aceleaşi măsurători, citindu-se toate tensiunile de fază şi de linie.

4.3. Se conectează bornele R şi S la borna R a tabloului de alimentare (borna S a acestuia rămânând liberă iar borna T menținându-se conectată la faza tabloului) k fiind deschis. Ca impedanță pentru crearea defazajului (Z) se conectează pe rând condensatorii C, bobina B1, apoi reostatul R.

5. *Tabele de date şi relații de calcul.*

Tabel 1

Nr. crt.	I [A]	U_{10} [V]	U_{20} [V]	U_{30} [V]	U_{12} [V]	U_{23} [V]	U_{31} [V]	0° 30° .... 330°
1.								
2.								
3.								
4.								
5.								
6.								

Tabel 2

Nr. crt.	U_{max} [V]	U_{min} [V]	U_a [V]	U_f [V]	U_1 [V]	U_2 [V]
1.						
2.						
3.						
4.						
5.						
6.						

Ținând seama că tensiunile măsurate sunt proporționale cu valorile câmpului magnetic (B=KU) în centru sistemului de bobine avem (fig. 4):

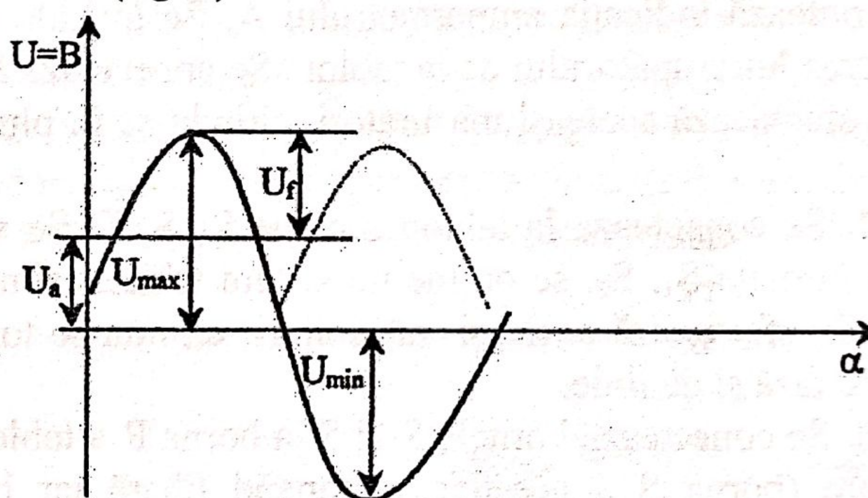


Fig. 4 Graficul de variație a tensiunii

$$U_a = \frac{U_{max} + U_{min}}{2}; \quad U_f = \frac{U_{max} - U_{min}}{2}$$

$$U_1 = U_a + \frac{U_f}{2} = \frac{3}{4} \cdot U_{max} + \frac{1}{4} \cdot U_{min}$$

$$U_2 = \frac{U_f}{2} = \frac{U_{max} - U_{min}}{2}$$

Aparatul de măsură cu redresor (V) nu sesizează inversarea polarității tensiunii. Din acest motiv este necesară inversarea porțiunii desenate punctat, astfel încât să se obțină o curbă sinusoidală.

Lucrarea nr.13

DETERMINAREA PARAMETRILOR UNUI CIRCUIT DIPOLAR PASIV ÎN REGIM PERMANENT SINUSOIDAL

În lucrare se determină prin metode industriale parametrii care caracterizează în regim permanent armonic un circuit dipolar şi pasiv: impedanţa (admitanţa) şi defazajul, rezistenţa şi reactanţa echivalentă, respectiv conductanţa şi susceptanţa echivalentă.

1. *Chestiuni teoretice*

Se consideră un circuit dipolar (denumit şi uniport) liniar pasiv, funcţionând în regim permanent armonic, având tensiunea la borne:

$$u=U\cdot\sqrt{2}\cdot\sin(\omega t+\alpha) \qquad (1)$$

şi curentul:

$$i=I\cdot\sqrt{2}\cdot\sin(\omega t+\beta) \qquad (2)$$

cu sensurile de calcul asociate după regula adoptată pentru receptoare (fig.1).

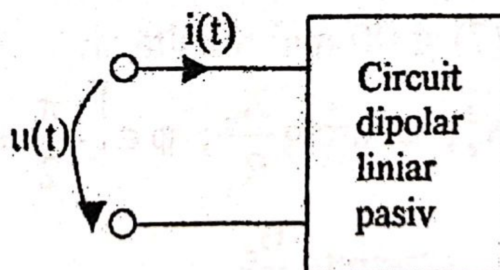


Fig. 1 Schema de principiu a unui circuit dipolar pasiv

Circuitul poate fi caracterizat în regim permanent armonic printr-o pereche de mărimi scalare care pot fi:

a) impedanţa (scalară) Z şi defazajul φ (dintre tensiune şi curent)

$$Z=\frac{U}{I};\ \varphi=\alpha-\beta;\ \varphi\in\left[-\frac{\pi}{2},+\frac{\pi}{2}\right] \qquad (3)$$

b) admitanţa (scalară) Y şi defazajul φ

$$Y=\frac{I}{U};\ \varphi=\alpha+\beta;\ \varphi\in\left[-\frac{\pi}{2},+\frac{\pi}{2}\right] \qquad (4)$$

c) rezistenţa echivalentă R_e şi reactanţa echivalentă X_e

$$R_e=Z\cdot\cos\varphi;\ X_e=Z\cdot\sin\varphi \qquad (5)$$

d) conductanţa echivalentă G_e şi susceptanţa echivalentă B_e

$$G_e=Y\cdot\cos\varphi;\ B_e=-Y\cdot\sin\varphi \qquad (6)$$

Aceste mărimi scalare derivă din impedanţa complexă $\underline{Z}$ sau admitanţa complexă $\underline{Y}$, de care sunt legate prin relaţiile:

$$\underline{Z}\overset{def}{=}\frac{\underline{U}}{\underline{I}}=\frac{U\cdot e^{j\alpha}}{I\cdot e^{j\beta}}=\frac{U}{I}\cdot e^{j(\alpha-\beta)}=Z\cdot e^{j\varphi}=R_e+jX_e \qquad (7)$$

$$\underline{Y}\overset{def}{=}\frac{\underline{I}}{\underline{U}}=\frac{I\cdot e^{j\beta}}{U\cdot e^{j\alpha}}=\frac{I}{U}\cdot e^{-j(\alpha-\beta)}=Y\cdot e^{-j\varphi}=G_e+j\cdot B_e \qquad (8)$$

unde $\underline{U}$ şi $\underline{I}$ sunt expresiile în complex simplificat ale tensiunii u şi curentului i:

$$\underline{U}=U\cdot e^{j\alpha};\ \underline{I}=I\cdot e^{j\beta} \qquad (9)$$

Din relaţiile (7) şi (8) mai rezultă şi:

$$Z=\sqrt{R_e^2+X_e^2};\ \varphi=\mathrm{arctg}\frac{X_e}{R_e};\ \varphi\in\left[-\frac{\pi}{2},+\frac{\pi}{2}\right] \qquad (10)$$

$$Y=G_e^2+B_e^2;\ \varphi=-\mathrm{arctg}\frac{B_e}{G_e} \qquad (11)$$

$$\underline{Z}\cdot\underline{Y}=1;\ Z\cdot Y=1 \qquad (12)$$

Funcţie de parametrii menţionaţi, circuitul dipolar poate fi prezentat printr-un circuit echivalent serie sau paralel, în care se pun în evidenţă componentele impedanţei complexe $\underline{Z}$ (fig.2.a.) şi respectiv admitanţei complexe $\underline{Y}$ (fig 2.b).

Elementele circuitului echivalent paralel se pot deduce în funcție de cele ale circuitului echivalent serie utilizând relațiile (7), (8) și (12). Relațiile de calcul sunt:

$$G_e=\frac{R_e}{R_e^2+X_e^2};\quad B_e=-\frac{X_e}{R_e^2+X_e^2} \tag{13}$$

Puterea aparentă complexă la bornele circuitului dipolar pasiv este:

$$\underline{S}=\underline{U}\cdot\underline{I}^{x}=U\cdot e^{j\alpha}\cdot I\cdot e^{-j\beta}=U\cdot I\cdot e^{j(\alpha-\beta)}=U\cdot I\cdot e^{j\varphi}=S\cdot e^{j\varphi}=P+j\cdot Q \tag{14}$$

unde: $P=U\cdot I\cdot\cos\varphi=R_e\cdot I^2=G_e\cdot U^2$; (15)

și $Q=U\cdot I\cdot\sin\varphi=X_e\cdot I^2=-B_e\cdot U^2$; (16)

reprezintă puterea activă și respectiv puterea reactivă la bornele circuitului dipolar.

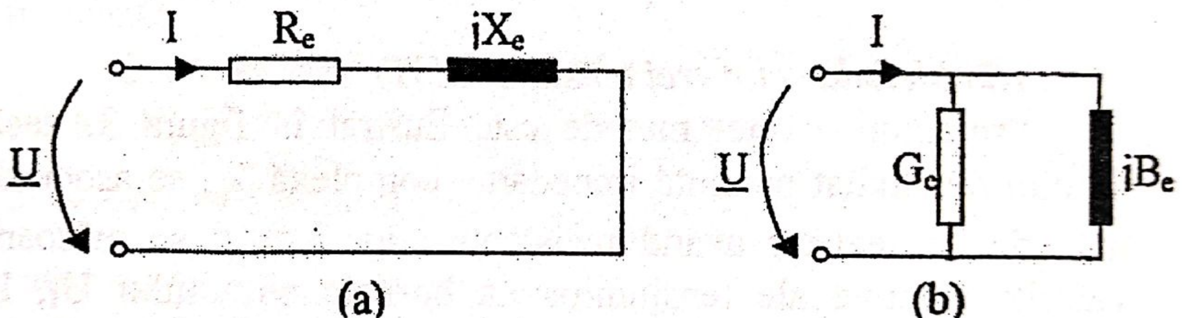


Fig. 2 Schema de principiu a unui circuit bipolar echivalent serie (a), paralel (b)

În cele ce urmează se vor prezenta două metode de determinare a parametrilor ce caracterizează, în regim permanent armonic, un circuit dipolar liniar și pasiv. În prezentarea metodelor se vor considera neglijabile consumurile proprii ale aparatelor de măsurat.

1.1. *Metoda industrială (MI)*

În metoda industrială se utilizează un ampermetru, un voltmetru și un wattmetru cu care se determină valorile efective ale curentului și tensiunii, precum și puterea activă primită de circuit de la o sursă de alimentare.

Relațiile de calcul a parametrilor circuitului sunt:

$$Z=\frac{U}{I};\ Y=\frac{I}{U};\ \varphi=\pm\arccos\frac{P}{U\cdot I}$$

$$R_e=\frac{P}{I^2};\ X_e=\pm\sqrt{Z^2-R_e^2} \tag{17}$$

$$G_e=\frac{P}{U^2};\ B_e=\pm\sqrt{Y^2-G_e^2}$$

Defazajul φ, respectiv reactanţa X_e, sunt pozitive pentru circuit inductiv (pentru care susceptanţa este negativă) şi negative pentru circuit capacitiv (pentru care susceptanţa este pozitivă).

Stabilirea semnului defazajului, reactanţei şi susceptanţei în cazul în care nu este cunoscută natura circuitului se va face după procedeul prezentat la 1.3.

1.2. *Metoda celor trei tensiuni (M3T)*

Principiul acestei metode este ilustrat în figura 3. dacă dipolul de studiat prezintă impedanţa complexă $\underline{Z}$, se asociază în serie un rezistor având rezistenţa (fig. 3.a) şi se măsoară valorile efective ale tensiunilor: la bornele circuitului U_1, la bornele rezistorului U_r şi la bornele dipolului de studiat U şi valoarea efectivă a curentului circuitului I.

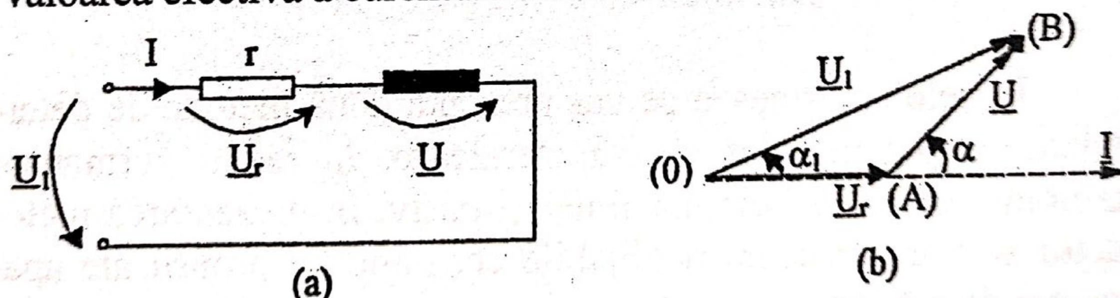


Fig. 3 a) Schema de principiu a unui dipol înseriat cu un rezistor
Fig. 3 b) Diagrama fazorială a tensiunilor

Considerând cunoscut fazorul $\underline{I}$ se construieşte diagrama fazorială din figura 3.b, unde din triunghiul AOB rezultă:

$$\cos\varphi=\frac{U^2-U_1^2-U_r^2}{2U_rU_1}$$, de unde rezultă:

$$\varphi=\pm\arccos\frac{U^2-U_1^2-U_r^{\,2}}{2U_rU_1} \qquad (18)$$

Parametrii circuitului dipolar studiat se determină cu relațiile (5), (6) şi (17).

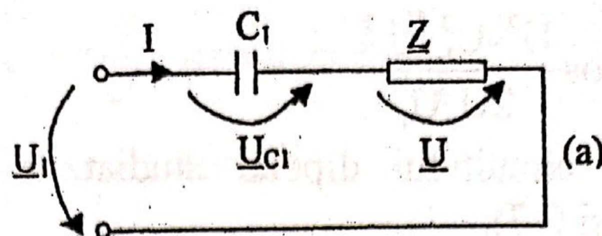
Semnul defazajului φ se determină procedând ca la punctul 1.3.

1.3. *Determinarea naturii (inductive, capacitive) unui dipol pasiv*

Este de remarcat că nici una din metodele prezentate anterior nu permite determinarea naturii dipolului studiat, respectiv a semnului reactanței echivalente (susceptanței echivalente). Pentru rezolvarea acestei probleme se poate proceda după cum urmează:

a) se determină prin oricare din metodele prezentate, modulul reactanței echivalente $|X_e|$ a dipolului care se studiază, după care se conectează în serie cu circuitul dipolar un condensator cu reactanța cunoscută $X_c=-\frac{1}{\omega C}$.

Pentru acest nou circuit dipolar se determină modulul reactanței echivalente $|X_e^i|=|X_e+X_c|$. Excluzând cazul banal, Xe=0, un raționament simplu ne arată că dacă $|X_e^i|>|X_e|$ şi $|X_e^i|>|X_c|$, dipolul studiat este capacitiv; în caz contrar dipolul este inductiv.



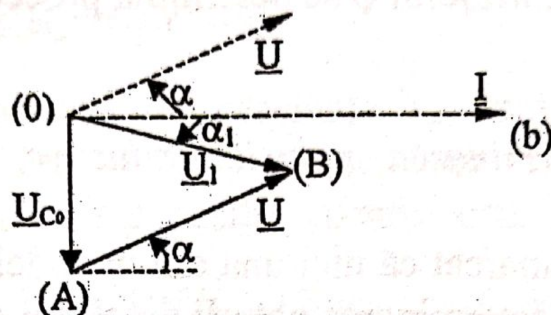


Fig. 4 a) Schema de principiu a unui dipol înseriat cu un condensator

Fig. 4 b) Diagrama fazorială a tensiunilor

b) se măsoară puterea reactivă Q a circuitului dipolar de studiat al cărei semn coincide cu cel al defazajului şi al reactanţei echivalente a circuitului (şi opus semnului susceptanţei echivalente);

c) se aplică metoda celor trei tensiuni, înlocuind rezistorul cu un condensator (presupus ideal), ca în figura 4.a. Din diagrama fazorială a tensiunilor (figura 4.b) rezultă:

$$\cos\varphi = \frac{U^2 - U_1^2 - U_c^2}{2U_1U_c} \tag{19}$$

de unde rezultă:

$$\arccos\varphi = \frac{U^2 - U_1^2 - U_c^2}{2U_1U_c} \tag{20}$$

2. *Chestiuni de studiat*

2.1. Utilizarea metodei industriale pentru determinarea parametrilor circului echivalent serie şi paralel al unor circuite dipolare pasive.

2.2. Utilizarea în acelaşi scop a metodei celor trei tensiuni.

2.3. Compararea rezultatelor obținute prin cele două metode.

2.4. Construirea diagramelor fazoriale pentru fiecare dipol studiat.

3. *Schema experimentală și aparate de măsură utilizate*

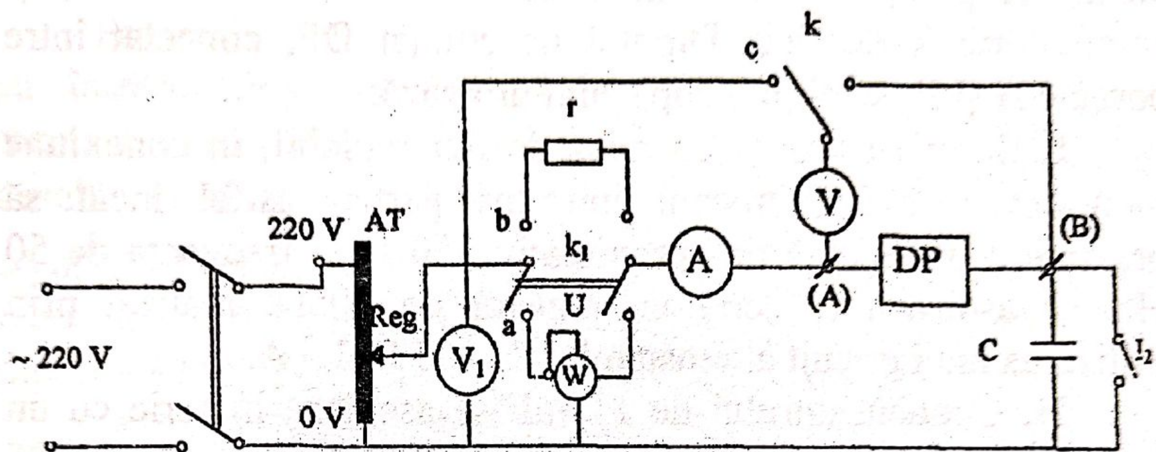


Fig. 5 Schema de lucru a unui dipol pasiv în regim permanenet sinusoidal

I_1 – întrerupător bipolar;
AT – autotransformator reglabil, tip ATR 8;
A – ampermetru (MAVO 35);
V, V_1 – voltmetre (MAVO 35, UNITRA);
W – wattmetru electrodinamic cu domeniile 150 V, 30 V/2,5A;
DP – dipol pasiv realizat prin asocierea următoarelor elemente:
R_1, R_2 – reostate de 105Ω/2,5A, folosite ca rezistențe fixe;
C_2 – baterie de condensatoare, 153 μA;
B_1 – bobină cu miez de fier reglabil, trifazat, în conexiune monofazată;
C – baterie de condensatoare electrice trifazată, 15 KVAR, 500V, conectată între două borne (capacitatea echivalentă de aproximativ 96μF);
I_2 – întrerupător monopolar;
k – comutator monopolar;

k_1 – comutator bipolar;

R – reostat de 30Ω/4 A, utilizat ca rezistenţă fixă.

5. *Modul de lucru*

5.1. Se realizează montajul din figura 5, cu comutatorul k_1 închis în poziţia a, care introduce wattmetrul în circuit, şi comutatorul k deschis. Dipolul de studiat DP, conectat între bornele A şi B, se obţine după cum urmează:

I. Bobina trifazată cu miez de fier reglabil, în conexiune monofazată, având miezul introdus parţial astfel încât să prezinte o impedanţă de aproximativ 150 Ω la frecvenţa de 50 Hz, se asociază în serie un rezistor de 105Ω, realizat prin utilizarea unui circuit al reostatului de 105 Ω/2,5 A.

II. Condensatorului de 15,3μF se asociază în serie cu un rezistor de 105 Ω, realizat cu un cilindru al altui reostat de 105 Ω/2,5 A.

III. Se asociază în serie dipolii realizaţi la I şi II;

IV. Se asociază în paralel dipolii realizaţi la I şi II;

Pentru fiecare dipol se utilizează acelaşi montaj, descris mai sus, care se alimentează de la reţea închizând întrerupătorul I_1 cu autotransformatorul pe poziţia de tensiune secundară nulă. Se închide întrerupătorul I_2 (se scurtcircuitează condensatorul C) şi se creşte tensiunea secundară a autotransformatorului până ce curentul circuitului devine de 1A. Se măsoară tensiunea U (cu voltmetrul V_1) şi puterea activă P a circuitului dipolar (cu wattmetrul W). Valorile măsurate se trec în tabelul 1. Se deschide apoi întrerupătorul I_2 şi se determină curentul I′ şi puterea P′ ale noului circuit, în scopul stabilirii naturii (inductive sau capacitive) a dipolului studiat. Reactanţa condensatorului C la frecvenţa de 50 Hz este $x_c \approx -30\Omega$.

Parametrii circuitului echivalent serie, respectiv paralel, ai dipolului studiat se determină cu relaţiile (17). Rezultatele se trec în tabelul 1.

5.2. În montajul din figura 5 se pune comutatorul K_1 în poziţia b, în care se introduce rezistorul r, şi se închide comutatorul k în poziţia c. Între bornele A şi B vor fi conectaţi

dipolii de studiat realizaţi după indicaţiile date la 5.1. Pentru fiecare dipol se măsoară curentul, tensiunea U_1 (cu voltmetrul V_1) şi tensiunile U_r şi U (cu voltmetrul V) închizând succesiv comutatorul k pe poziţiile c şi d. Valorile măsurate se trec în tabelul 2.

Pentru fiecare dipol se efectuează două serii de măsurări, cu întrerupătorul I_2 închis, pentru determinarea modulului reactanţei circuitului echivalent serie X_e, şi cu întrerupătorul I_2 deschis, pentru determinarea modulului reactanţei X'_e. Prin compararea acestor două reactanţe se determină semnul fiecărei reactanţe, respectiv natura – inductivă sau capacitivă – a dipolului studiat.

Valorile măsurate şi rezultatele de calcul se trec în tabelul 2.

4. *Tabele cu valori măsurate şi rezultate de calcul*

Utilizarea metodei industriale

Tabelul 1

Dipol studiat			**I**	**II**	**III**	**IV**
Valori măsurate	**U**	**V**				
	I	**A**				
	P	**W**				
	I′	**W**				
	P′	**Ω**				
Valori calculate	**Z**	**Ω**				
	Y	**S**				
	φ	**Rad**				
		Grd				
	R_e	**Ω**				
	$\lvert X_e \rvert$	**Ω**				
	$\lvert X'_e \rvert$	**Ω**				
	X_e	**Ω**				
	G_e	**S**				
	B_e	**S**				

Utilizarea metodei celor trei tensiuni

Tabelul 2

Dipol studiat:			I	II	III	IV
Valori măsurate	U_1					
	U_r					
	U					
	I					
	U_i					
	I'					
Valori calculate	Z					
	Y					
	$\lvert X_e \rvert$					
	$\lvert X'_e \rvert$					
	X_e					
	φ					
	R_e					
	G_e					
	B_e					

Lucrarea nr. 14

STUDIUL CUADRIPOLULUI DIPORT LINIAR PASIV

1. *Chestiuni teoretice*

Cuadripol electric general ≡ circuit electric cu patru borne de acces, fără cuplaje magnetice cu exteriorul.

Cuadripol diport ≡ cuadripol pentru care cele patru borne sunt grupate în două perechi (porți), bornele fiecărei porți având curenți egali și de sensuri opuse (fig. 1). Poarta formată de bornele 1 - 1′ se numește poartă de intrare și poarta formată de bornele 2 - 2′ se numește poartă de ieșire.

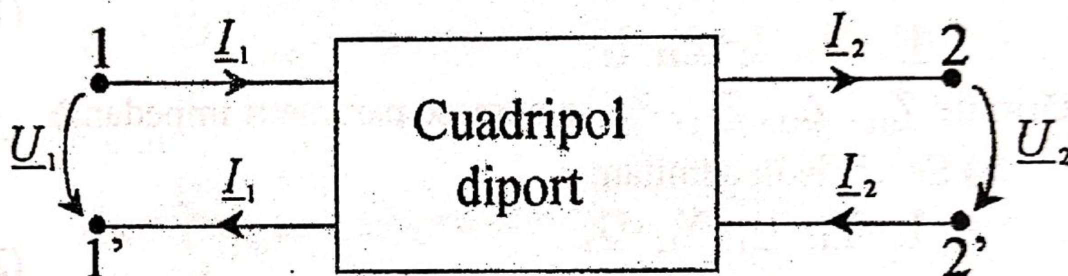


Fig. 1 Schema de principiu a unui cuadripol diport liniar pasiv

În funcție de structura internă a cuadripolilor, aceștia pot fi: *pasivi* (nu conțin surse de energie electromagnetică) și *activi*.

După natura elementelor componente, cuadripolilor pot fi: *liniari și neliniari*.

Cuadripolii care nu au în structură elemente disipative (rezistoare) sunt *cuadripoli fără pierderi*.

Cuadripolii diporți care respectă teorema reciprocității în raport cu porțile de intrare și ieșire scurtcircuitate fiecare, se numesc *cuadripoli reciproci*.

Studiul cuadripolilor este util întrucât aceștia constituie părți componente în circuite de transmisie a energiei sau semnalelor electromagnetice amplasate între generator și consumator (spre exemplu transformatoare, linii de transport, amplificatoare, filtre electrice). Deși structura lor poate fi relativ complicată,

teoria cuadripolilor permite o tratare unitară, independentă de structura internă, care uşurează mult analiza circuitelor din care fac parte.

Date fiind multiplele aplicații practice ale *cuadripolilor diporți liniari pasivi*, aceştia vor face obiectul lucrării de față. Studiul lor este util în *regim permanent sinusoidal*.

Funcționarea cuadripolilor diporți este complet descrisă de patru mărimi ($\underline{U}_1$, $\underline{I}_1$, $\underline{U}_2$, $\underline{I}_2$) dintre care numai două sunt independente. Relațiile de interdependență între aceste mărimi pot fi exprimate sub diferite forme, dintre care cele mai uzuale sunt:

a) Ecuațiile în impedanțe:

$$\begin{aligned} \underline{U}_1 &= \underline{Z}_{11} \cdot \underline{I}_1 + \underline{Z}_{12} \cdot \underline{I}_2 \\ \underline{U}_2 &= \underline{Z}_{21} \cdot \underline{I}_1 + \underline{Z}_{22} \cdot \underline{I}_2 \end{aligned} \qquad (1)$$

Mărimile $\underline{Z}_{11}$, $\underline{Z}_{12}$, $\underline{Z}_{21}$, $\underline{Z}_{22}$ se numesc parametri impedanță.

b) Ecuațiile în admitanțe:

$$\begin{aligned} \underline{I}_1 &= \underline{Y}_{11} \cdot \underline{U}_1 + \underline{Y}_{12} \cdot \underline{U}_2 \\ \underline{I}_2 &= \underline{Y}_{21} \cdot \underline{U}_1 + \underline{Y}_{22} \cdot \underline{U}_2 \end{aligned} \qquad (2)$$

Mărimile $\underline{Y}_{11}$, $\underline{Y}_{12}$, $\underline{Y}_{21}$, $\underline{Y}_{22}$ se numesc parametrii admitanță.

c) Ecuațiile fundamentale:

$$\begin{aligned} \underline{U}_1 &= \underline{A} \cdot \underline{U}_2 + \underline{B} \cdot \underline{I}_2 \\ \underline{I}_1 &= \underline{C} \cdot \underline{U}_2 + \underline{D} \cdot \underline{I}_2 \end{aligned} \qquad (3)$$

Mărimile $\underline{A}$, $\underline{B}$, $\underline{C}$, $\underline{D}$ se numesc parametrii fundamentali ai cuadripolului.

Ca urmare, oricare categorie de parametrii (impedanță, admitanță sau fundamentali) dă informații complete asupra comportării cuadripolului. Ecuațiile (1), (2), (3) pot fi deduse unele din altele, astfel încât cunoaşterea unei categorii de parametrii permite calcularea celorlate.

Semnificația parametrilor decurge din ecuațiile în care intervin. Spre exemplificare pentru parametrii impedanță, din (1) rezultă:

$$\underline{Z}_{11} = \frac{\underline{U}_1}{\underline{I}_1}\Big|_{\underline{I}_2=0}$$ - impedanţa de intrare cu ieşirea în gol; (4)

$$\underline{Z}_{12} = \frac{\underline{U}_1}{\underline{I}_2}\Big|_{\underline{I}_1=0}$$ - impedanţa de transfer cu intrarea în gol; (5)

$$\underline{Z}_{21} = \frac{\underline{U}_2}{\underline{I}_1}\Big|_{\underline{I}_2=0}$$ - impedanţa de transfer cu ieşirea în gol; (6)

$$\underline{Z}_{22} = \frac{\underline{U}_2}{\underline{I}_2}\Big|_{\underline{I}_1=0}$$ - impedanţa de ieşire cu intrarea în gol. (7)

Întrucât prezintă utilitate practică, se mai definesc următoarele impedanţe:

$$\underline{Z}_{1S} = \frac{\underline{U}_1}{\underline{I}_1}\Big|_{\underline{U}_2=0}$$ - impedanţa de intrare cu ieşirea în scurtcircuit; (8)

$$\underline{Z}_{2S} = \frac{\underline{U}_2}{\underline{I}_2}\Big|_{\underline{U}_1=0}$$ - impedanţa de ieşire cu intrarea în scurtcircuit; (9)

Relaţiile (4) – (9) dau informaţii foarte clare asupra modului cum se pot măsura impedanţele respective.

În lucrare se propune determinarea experimentală a parametrilor impedanţă pentru un cuadripol diport liniar pasiv şi reciproc.

Algoritm general pentru măsurarea impedanţelor

Pentru determinarea experimentală a unei impedanţe $\underline{Z}$ (fig. 2) aceasta se alimentează cu o tensiune sinusoidală de pulsaţie $\omega=2\pi f$

$$u(t)=U\cdot\sqrt{2}\cdot\sin\omega t \quad [V] \tag{10}$$

a cărei imagine complexă este:

$$\underline{U}=U \tag{11}$$

Impedanţa va fi parcursă de un curent defazat faţă de tensiune cu unghiul electric φ, măsurat în sens direct (sens invers trigonometric)

$$i(t)=I\cdot\sqrt{2}\cdot\sin(\omega t-\varphi) \qquad [A] \qquad (12)$$

a cărui imagine complexă este:

$$\underline{I}=I\cdot e^{-j\varphi} \qquad (13)$$

Diagrama fazorială a mărimilor $\underline{U}$ şi $\underline{I}$ se prezintă în fig.3.

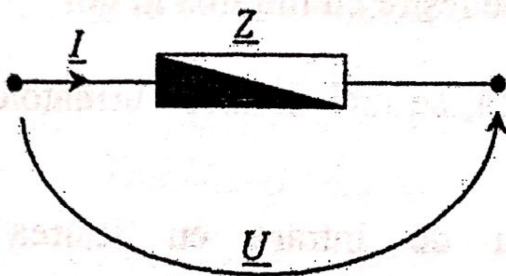


Fig. 2 Reprezentarea unei Impedanțe alimentate cu tensiune sinusoidală de pulsație ω

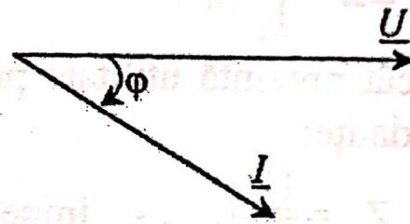


Fig. 3 Diagrama fazorială tensiune-curent

Pornind de la definiția impedanței complexe:

$$\underline{Z}=\frac{\underline{U}}{\underline{I}} \qquad (14)$$

şi înlocuind aici $\underline{U}$ şi $\underline{I}$ din (11) şi (13) rezultă:

$$\underline{Z}=\frac{\underline{U}}{\underline{I}}=\frac{U}{I\cdot e^{-j\varphi}}=\frac{U\cdot e^{j0}}{I\cdot e^{-j\varphi}}=\frac{U}{I}\cdot e^{j\varphi}=\frac{U}{I}(\cos\varphi\text{-}j\sin\varphi)=$$
$$=\frac{U}{I}\cdot\cos\varphi+j\cdot\frac{U}{I}\cdot\sin\varphi=R+jX \qquad (15)$$

unde:

$$R=\frac{U}{I}\cdot\cos\varphi \qquad (16)$$

reprezintă componenta rezistivă (rezistenţa), totdeauna pozitivă şi

$$X=\frac{U}{I}\cdot\sin\varphi \qquad (17)$$

reprezintă componenta reactivă (reactanța), care poate fi pozitivă sau negativă, după cum impedanța are caracter inductiv ($X=\omega L$) sau capacitiv ($X=-1/\omega C$).

Modulul impedanței este:

$$Z=|\underline{\dot{Z}}|=\frac{U}{I}=\sqrt{R^2+X^2} \qquad (18)$$

Relația (15) arată că pentru determinarea completă a impedanței este necesar să se cunoască valorile efective ale tensiunii – U și curentul – I (măsurabile cu aparate uzuale de curent alternativ – voltmetru și ampermetru), cât și defazajul între cele două mărimi – φ. Defazajul se poate măsura indirect, prin intermediul puterii active – P absorbită de impedanță (măsurabilă cu un wattmetru). Indicația wattmetrului va fi:

$$P=U\cdot I\cdot\cos\varphi \qquad (19)$$

de unde rezultă: $\cos\varphi=\frac{P}{U\cdot I}$ și $\sin\varphi=\sqrt{I\text{-}\cos^2\varphi}$ (20)

Înlocuind relațiile (20) în (16) și (17), rezultă cele două componente ale impedanței $\underline{Z}$.

Dacă impedanțele sunt de natură inductivă, se calculează inductivitatea echivalentă: $X=\omega L \Rightarrow L=\frac{X}{\omega}$ (21)

Dacă impedanțele sunt de natură capacitivă se calculează capacitatea echivalentă: $X=\frac{1}{\omega C} \Rightarrow C\frac{1}{\omega X}$ (22)

2. *Chestiuni de studiat*

2.1. Determinarea experimentală a unor impedanțe oarecare.

2.2. Determinarea experimentală a parametrilor impedanță ai unui cuadripol.

3. *Scheme experimentale şi aparate de măsură utilizate*

3.1. Pentru determinarea experimentală a unor impedanţe oarecare se utilizează schema de măsurare din figura 4.

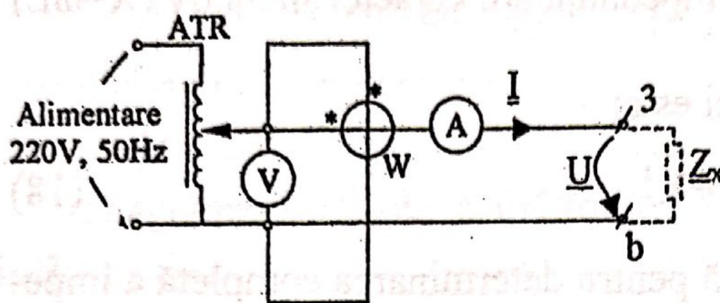


Fig. 4 Schema de lucru pentru determinarea experimentală a unei impedanţe

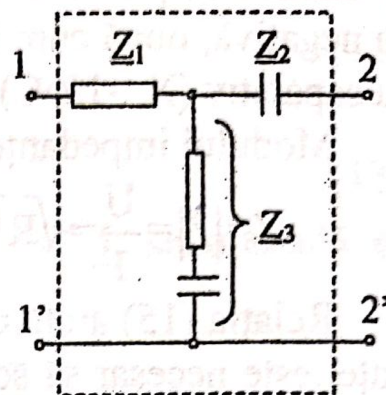


Fig.5 Schema de principiu a unui monobloc de impedanţe

Elementele montajului sunt:

ATR - autotransformator reglabil 220V; 0-240V; 8A;
V - multimetru MAVO 35 sau UNITRA;
A - multimetru MAVO 35 sau UNITRA;
W - wattmetru electrodinamic;
$\underline{Z}_X$ - impedanţa necunoscută.

Ca impedanţe necunoscute se propune utilizarea impedanţelor $\underline{Z}_1$, $\underline{Z}_2$, $\underline{Z}_3$ care compun cuadripolul, conform figurii 5.

3.2. Pentru determinarea experimentală a parametrilor impedanţă ai cuadripolului realizat pe panoul din laborator se utilizează schemele de măsurare din figurile 6 – 9.

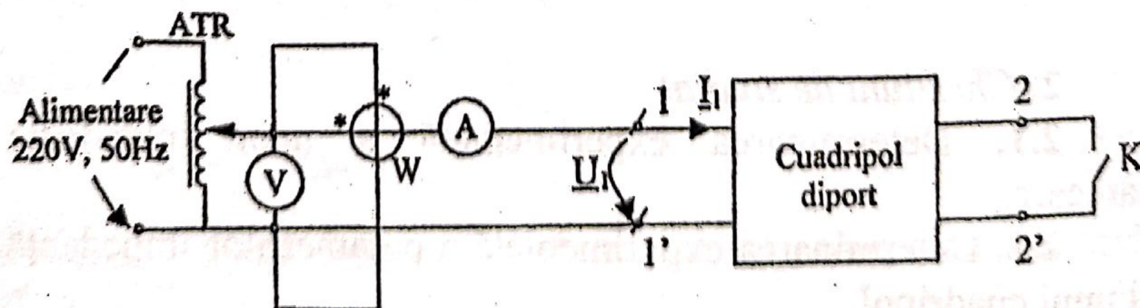


Fig. 6

Schema pentru măsurarea parametrilor $\underline{Z}_{11}$ şi $\underline{Z}_{1s}$

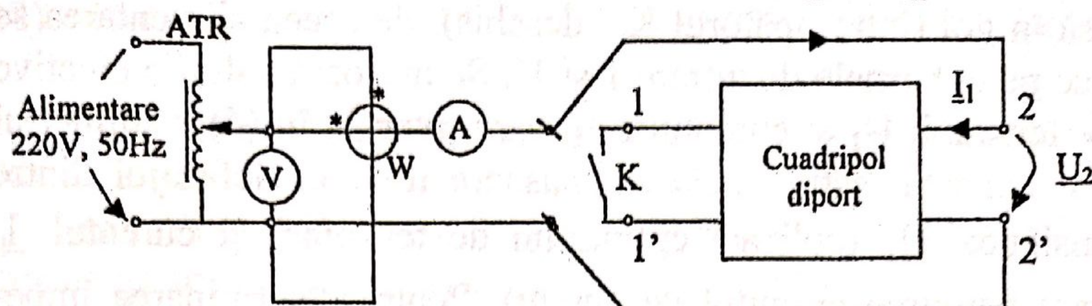


Fig. 7

Schema pentru măsurarea parametrilor $\underline{Z}_{22}$ şi $\underline{Z}_{2s}$

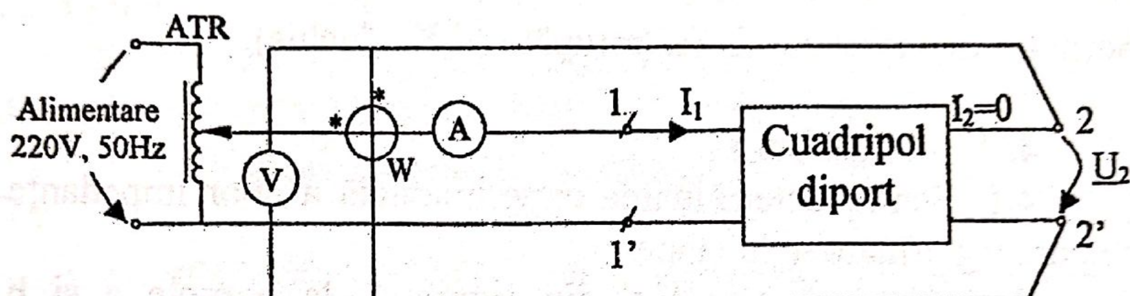


Fig. 8

Schema pentru măsurarea parametrului $\underline{Z}_{21}$

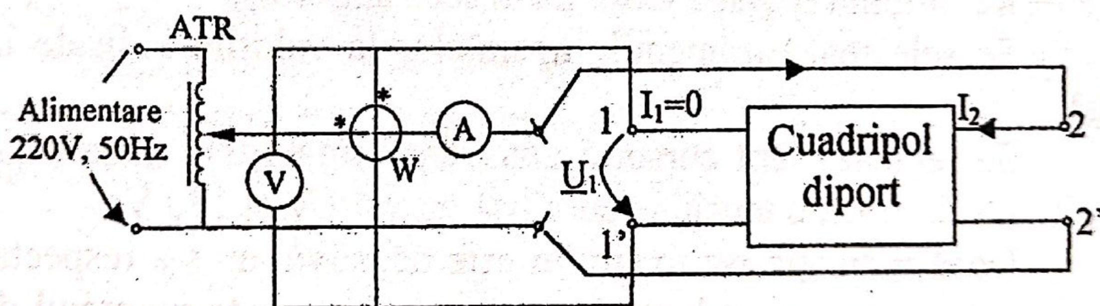


Fig. 9

Schema pentru măsurarea parametrului $\underline{Z}_{12}$

Elementele montajelor sunt aceleaşi ca la 3.1, cuadripolul diport reprezentat simplificat fiind cel din figura 5.

Se poate observa cu uşurinţă corelarea schemelor fig. 6 – 9 cu relaţiile (4) – (9). Mărimile electrice indicate pe fiecare schemă se regăsesc în relaţiile corespondente. Se exemplifică interpretarea schemei din figura 6: dacă impedanţa $\underline{Z}_{11}$, dată de

(4) este definită pentru $\underline{I}_2 = 0$, atunci bornele de ieşire 2 şi 2′ se lasă în gol (întrerupătorul K - deschis); de aceea alimentarea se face pe la bornele de intrare 1 şi 1′. Se măsoară valorile efective ale tensiunii U_1 şi curentului I_1, care intervin în (4); wattmetrul este conectat astfel încât să măsoare indirect defazajul dintre tensiunea $\underline{U}_1$ (aplicată circuitului de tensiune) şi curentul $\underline{I}_1$ (care parcurge circuitul de curent). Pentru determinarea impedanţei $\underline{Z}_{1s}$ dată de (8) se utilizează aceeaşi schemă, dar cu respectarea condiţiei $\underline{U}_2 = 0$ care presupune scurtcircuitarea bornelor de ieşire 2 şi 2′ (întrerupătorul K - închis).

4. *Modul de lucru*

4.1. Pentru determinarea experimentală a unor impedanţe se parcurg următoarele etape:

Se realizează montajul din figura 4, la bornele a şi b conectând impedanţele Z_1 din figura 5;

Se reglează cursorul autotransformatorului pentru tensiune de ieşire minimă (poziţia extremă în sens antiorar);

Se selectează domeniile aparatelor la valorile indicate la 3.1.

Se reglează lent cursorul autotransformatorului până când voltmetrul indică o tensiune cuprinsă între 70 V şi 130 V;

Dacă indicaţia wattmetrului este negativă, nu s-a respectat modul de conectare al bornelor marcate; Se scoate montajul de sub tensiune şi se face conectarea corectă;

Se notează indicaţiile aparatelor de măsurat în tabelul 1;

Se reglează cursorul autotransformatorului pentru tensiune de ieşire minimă şi se decuplează tensiunea de alimentare;

Se deconectează impedanţa $\underline{Z}_1$ de la bornele a şi b şi se conectează $\underline{Z}_2$, şi se notează indicaţiile aparatului;

Se deconectează impedanţa Z_2 de la bornele a şi b şi se conectează Z_3;

Se efectuează calculele corespunzătoare cu relaţiile (20), (18), (16), (17), (22), completându-se toate rubricile din tabelul 1;

Se compară rezultatele obţinute cu valorile nominale indicate pe cele trei impedanţe şi se notează concluziile.

4.2. Pentru determinarea experimentală a parametrilor impedanţă se parcurg următoarele etape:

Pentru determinarea parametrilor $\underline{Z}_{11}$ şi $\underline{Z}_{1s}$ se realizează montajul din figura 6.a, se observă asemănarea între schemele din figura 4 şi figura 6;

Se reglează cursorul autotransformatorului pentru tensiune de ieşire minimă (poziţia extremă în sens antiorar);

Se selectează domeniile aparatelor la valorile indicate la 3.1.

Se pune întrerupătorul K pe poziţia deschis pentru determinarea lui $\underline{Z}_{11}$;

Se cuplează tensiunea de alimentare de 220 V, 50 Hz;

Se reglează lent cursorul autotransformatorului până când voltmetrul indică o tensiune cuprinsă între 70 V şi 130 V;

Dacă indicaţia wattmetrului este negativă, nu s-a respectat modul de conectare al bornelor marcate; se scoate montajul de sub tensiune şi se face conectarea corectă;

Se notează indicaţiile aparatelor de măsurat în tabelul 2;

Se închide întrerupătorul K pentru determinarea lui $\underline{Z}_{1s}$, după care se reiau măsurătorile;

Pentru determinarea parametrilor $\underline{Z}_{22}$ şi $\underline{Z}_{2s}$ se realizează montajul din figura 7. A se observa asemănarea între schemele din fig. 6 şi fig. 7!

Se pune întrerupătorul K pe poziţia deschis pentru determinarea lui $\underline{Z}_{22}$ şi se parcurg etapele 4.2.5 – 4.2.9;

Se închide întrerupătorul K pentru determinarea lui $\underline{Z}_{2s}$;

Pentru determinarea parametrului $\underline{Z}_{12}$ se realizează montajul din figura 9. A se observa asemănările între schemele din fig.8 şi fig. 9!

Se efectuează calculele corespunzătoare cu relaţiile (20), (18), (16), (17), (22), completându-se toate rubricile din tabelul 2;

Se interpretează rezultatele;

5. *Tabele de date şi rezultate*

Tabelul 1.

Impedanţa / parametru	U [V]	I [A]	P [W]	cosφ	sinφ	Z [Ω]	R [Ω]	X [Ω]	C [μF]
$\underline{Z}_1$									
$\underline{Z}_2$									
$\underline{Z}_3$									

Tabelul 2.

Impedanţa / parametru	U_1 [V]	I_1 [A]	U_2 [V]	I_2 [A]	P [W]	$\cos\varphi_{jk}$	$\sin\varphi_{jk}$	R_{jk} [Ω]	X_{jk} [Ω]
$\underline{Z}_{11}$									
$\underline{Z}_{1s}$									
$\underline{Z}_{22}$									
$\underline{Z}_{2s}$									
$\underline{Z}_{21}$									
$\underline{Z}_{12}$									

Lucrarea nr. 15

STUDIUL FENOMENULUI DE FEROREZONANȚĂ ÎN CIRCUITUL SERIE L, C

1. *Chestiuni teoretice*

În circuitele care conțin bobine cu fier și condensatoare apar fenomene specifice, datorită caracteristicii neliniare a bobinei. Prin caracteristică a bobinei (spre deosebire de curba de magnetizare) se înțelege dependența neliniară între valoarea efectivă a tensiunii la bornele bobinei și valoarea efectivă a curentului care trece prin bobină. Caracteristica $U_L=U_L(I)$ se determină experimental cu aparate de măsură obişnuite și este reprezentată grafic ca în fig. 1.

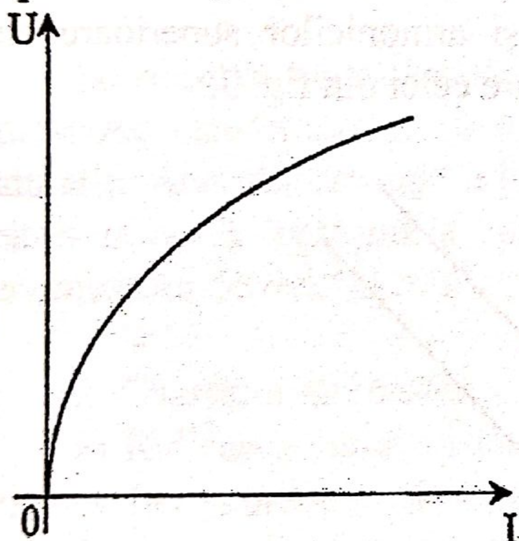


Fig. 1 Caracteristica U=f(I) determinată experimental

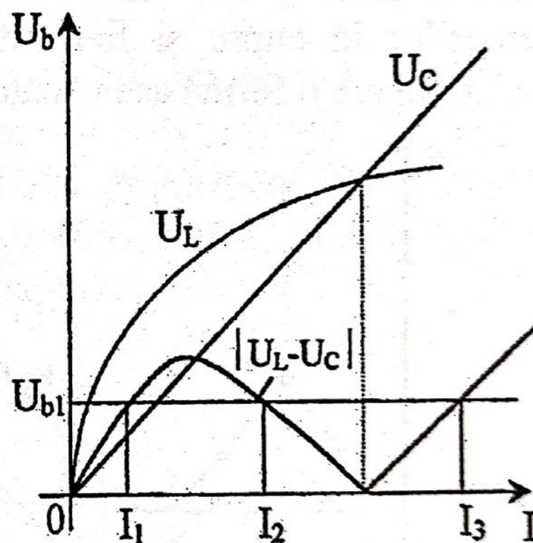


Fig.2 Caracteristicile U_L= f(I) și U_C= f(I) determinate experimental

Se examinează un circuit format prin conectarea în serie a unui condensator și a unei bobine cu fier alimentat la borne cu tensiune sinusoidală. Pentru analiza calitativă propusă se neglijează pierderile în bobină și condensator, respectiv pierderile în cupru, fier și în dielectric iar în locul curentului ideal se consideră curentul sinusoidal echivalent Ie având

aceeaşi valoare efectivă şi care, datorită absenţei pierderilor este în cuadratură cu tensiunea la borne şi cu căderile de tensiune echivalente în bobină şi condensator. Astfel spus căderile de tensiune echivalente $\underline{U}_L$ şi $\underline{U}_C$ sunt în fază sau opoziţie de fază cu tensiunea $\underline{U}$ la borne iar între valorile efective există relaţia:

$$U_b = |U_L - U_C| = \left| U_L(I) - \frac{1}{\omega C} \right|$$

În fig. 2 sunt date caracteristicile $U_L(I)$ neliniară $U_C(I) = \frac{1}{\omega C}$ (liniară).

Executând grafic scăderea $U_L - U_C$ pentru aceleaşi valori ale curentului se obţine caracteristica rezultantă $U_b = U_b(I)$ sub forma formei groase din fig. 2. Curba reală, datorită atât pierderilor în cupru şi fier cât şi armonicilor superioare ale curentului are o formă asemănătoare celei din fig. 3.

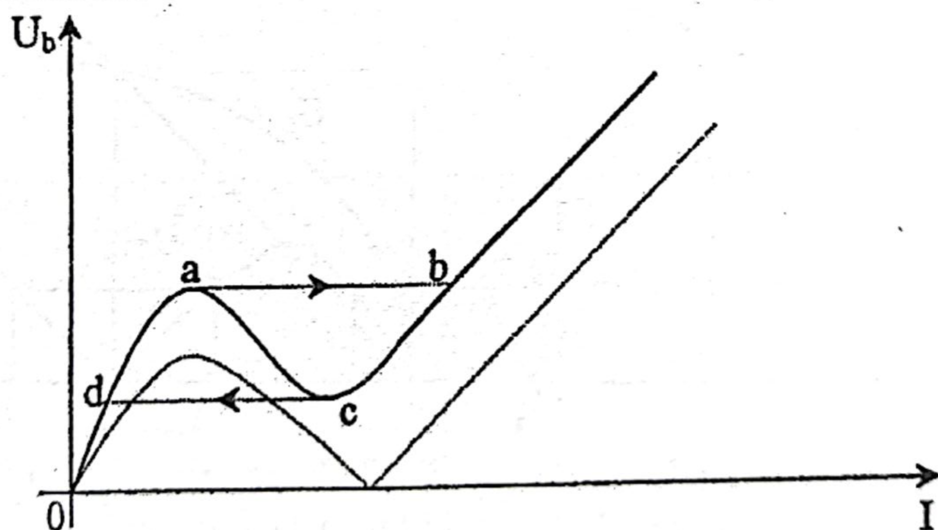


Fig. 3 Curbele reale ale pierderilor în fier şi cupru şi a armonicilor de ordin superior

Fenomenul este utilizat pentru construirea stabilizatoarelor *ferorezonante de tensiune* (fig.4).

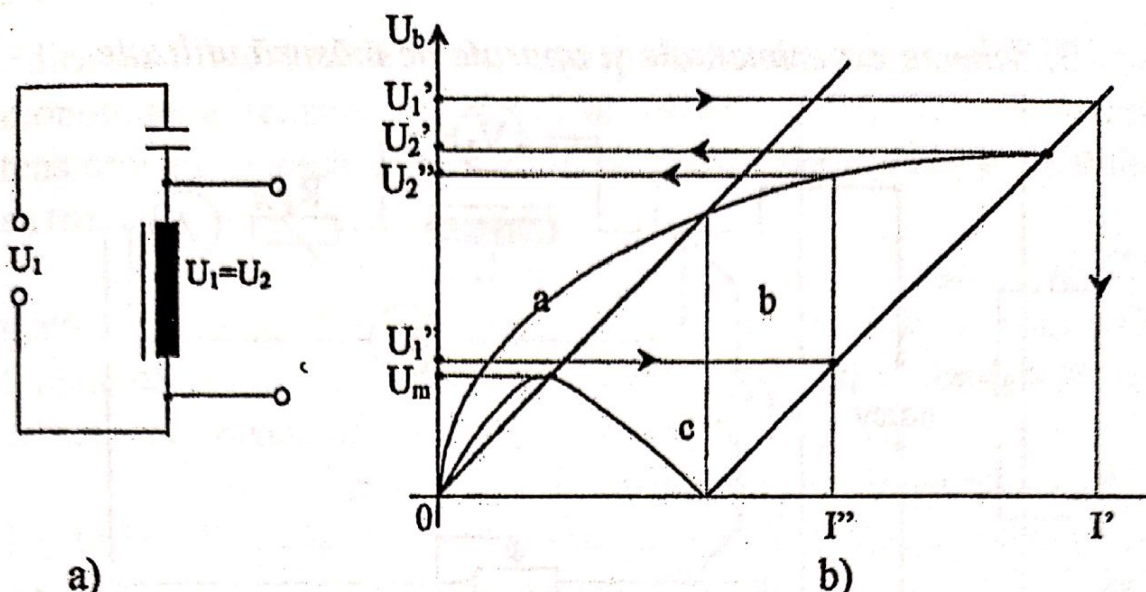


Fig. 4 a) Schema de principiu a unui stabilizator de tensiune ferorezonant

Fig. 4 b) Curbele de variație U=f(I)

Se observă că la variații mari ale tensiunii U_1 la borne corespund variații mici ale tensiunii la bobina aflată în regim de saturație. Această saturație a bobinei se produce chiar la valori relativ mici ale tensiunii la borne, când $U>U_m$, tocmai datorită fenomenului de rezonanță a tensiunilor.

2. *Chestiuni de studiat*

a) Ridicarea caracteristicii tensiune – curent a bobinei cu miez de fier şi predeterminarea grafică a caracteristicii U_b=f(I) a conexiunii serie bobină – condensator prin neglijarea pierderilor;

b) Determinarea experimentală a caracteristicii U_b=f(I) pentru conexiunea serie L, C, prin variația tensiunii aplicate la borne;

c) Determinarea experimentală a caracteristicii U_b=f(I) pentru conexiunea L, C, prin variația curentului care trece prin circuit.

d) Determinarea experimentală a proprietăților de stabilizare a tensiunii pentru circuitul L, C.

3. *Scheme experimentale şi aparate de măsură utilizate*

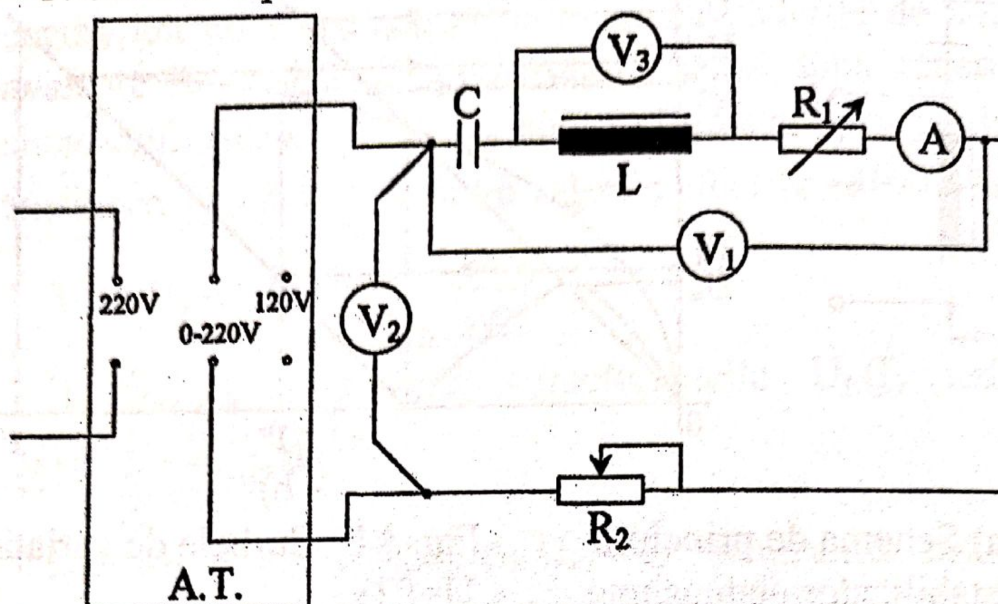


Fig. 5 Schema de lucru a unui circuit ferorezonant

A.T.	-	autotransformator reglabil;
R_1	-	rezistență 30Ω;
R_2	-	reostat 2 x 1250Ω;
A	-	ampermetru (MAVO 35 sau UNITRA)
V_1, V_2, V_3	-	voltmetre (MAVO 35 sau UNITRA);
L	-	bobină cu miez d fier realizată din modificarea unui transformator 120/6V;
C	-	condensator de 3μF.

4. *Modul de lucru*

a) Se realizează montajul din fig. 5.

La reostatul R_2 se utilizează ambele suluri înseriate astfel încât legătura cu restul schemei se execută la cele două borne de la capătul opus cursorului iar înserierea şi reglarea se face prin cursor. Se şuntează condensatorul C printr-un fir cu două borne.

În această primă parte a lucrării reostatul R_2 este scos din circuit (şuntat) iar tensiunea se reglează foarte lin cu ajutorul autotransformatorului A.T. Se determină punctele caracteristicii şi se trec în tabelul 1.

b) Se introduce condensatorul C în circuit (prin scoaterea şuntului), rezistența R_2 rămânând scoasă din circuit (şuntat). Se

ridică cu mare atenţie curba corespunzătoare descreşterii line şi monotone a tensiunii notându-se exact valorile curentului şi tensiunii în momentul salturilor. Şi aceste două rânduri de date se trec în tabelul 1.

c) Se introduce reostatul R_2 complet în circuit (2400Ω) şuntul respectiv fiind înlăturat. În această poziţie se reglează tensiunea la bornele autotransformatorului la 70 V după care nu se mai acționează dispozitivul de reglaj al acestuia.

Cu ajutorul cursorului se modifică lin rezistenţa reostatului R_2 de la 2400Ω la 0Ω notându-se cu atenţie punctele corespunzând maximului şi minimului tensiunii precum şi punctele intermediare între acestea corespunzând părţii descendente (nestabile) a caracteristicii. Se trec rezultatele în tabelul 1.

d) Cu schema de la punctul b se stabileşte o tensiune la intrarea schemei corespunzând momentului când are loc primul salt de curent (la creştere). Se creşte apoi tensiunea indicată de voltmetrul V_1 până la cca. 220V, observând că tensiunea indicată de voltmetrul V_3 variază puţin (cca. 30V faţă de cca. 150V la voltmetrul anterior).

Se trec în tabel datele şi se trasează caracteristica $U_3=f(U_1)$.

5. *Tabel de date*

Tabel 1

A		b				c		d	
U [V]	I [A]	Ascendent		Descendent		U [V]	I [A]	U_1 [V]	U_2 [V]
		U [V]	I [A]	U [V]	I [A]				

Obs. La toate cele patru puncte ale lucrării se va regla tensiunea sau rezistenţa în aşa fel încât curentul măsurat de ampermetrul A să varieze între 0 şi 250 mA.

Lucrarea nr. 16

FILTRE ELECTRICE

1. *Chestiuni teoretice*

Filtrele sunt circuite electrice care permit transferul de energie de la intrare la ieşire numai când frecvenţa semnalului se încadrează între frecvenţe numite benzi de trecere sau intervale de trecere date de elemente de circuit. Orice filtru este caracterizat de o mărime de intrare $U_i(t)$ şi o mărime de ieşire $U_e(t)$ determinată de elementele de circuit. În regim sinusoidal, raportul complex al tensiunilor de intrare ieşire numit şi raport de transmisie:

$$U_1(j\omega)/U_e(j\omega)=A(j\omega)=A(j\omega)e^{jBD} \quad (1)$$

modulul raportului de transmisie se numeşte raport de atenuare:

$$A(\omega)=|Aj(\omega)|=|U_i(j\omega)/U_e(j\omega)| \quad (2)$$

$$\Rightarrow a(\omega)=\ln A(\omega)=\ln U_i/\ln U_e \quad (3)$$

numită atenuare şi măsurată în NEPERI

Banda de trecere a oricărui filtru este determinată de două frecvenţe de tăiere: f_i – superioară şi f_k – inferioară. Caracteristica filtrului se obţine reprezentând atenuarea în funcţie de frecvenţă. Dacă $f_i=0$ şi f_k – finită şi diferită de zero, filtrul este trece jos.

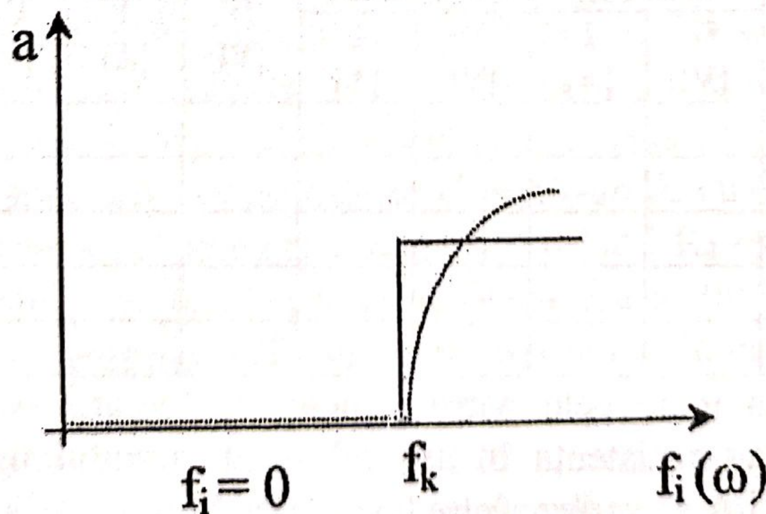


Fig. 1

În fig. 1 se prezintă caracteristica ideală a unui filtru trece jos, iar punctat caracteristica reală.
Dacă f_k este infinită şi f_i diferită de zero, filtrul este trece sus.

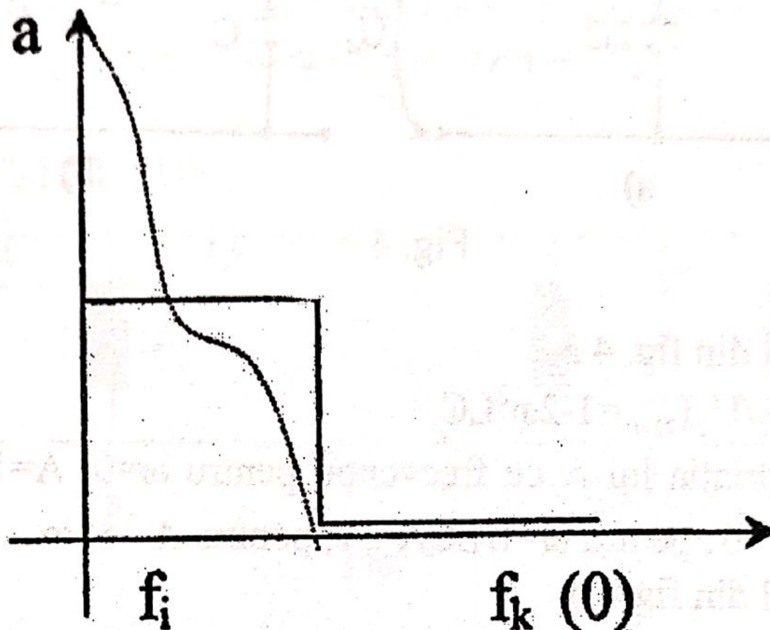


Fig. 2

În fig. 2 se prezintă caracteristica unui filtru trece sus
Dacă ambele filtre sunt finite şi nenule, iar fg>fi, filtrul este trece banda.

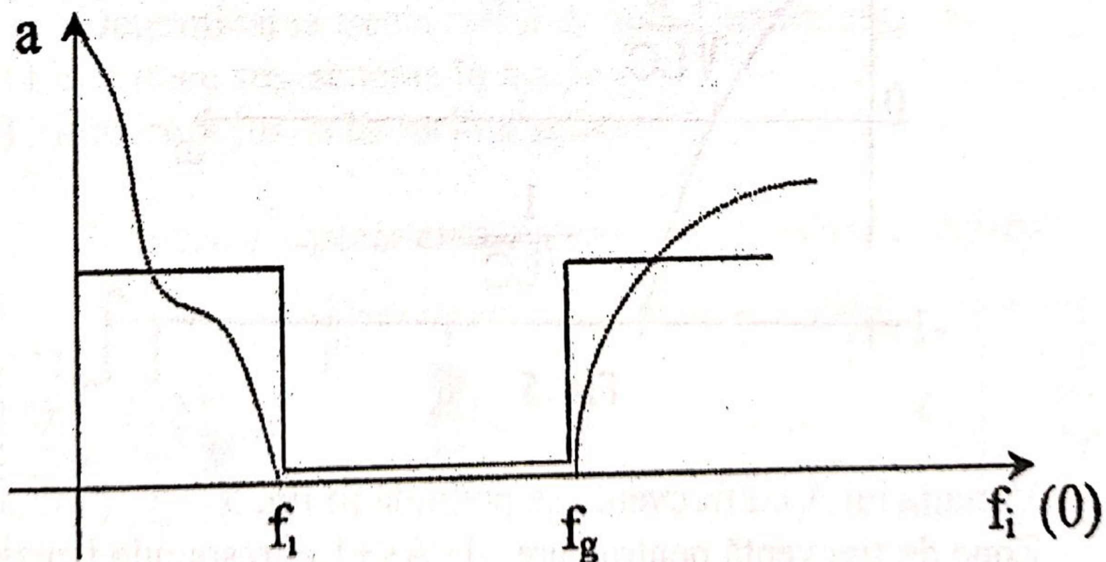


Fig. 3

În fig. 3 se prezintă caracteristica filtru trece banda

FILTRE TRECE JOS

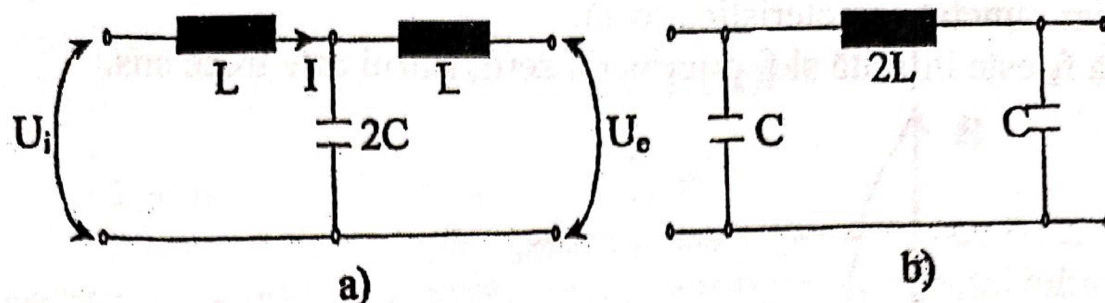


Fig. 4

Pentru filtrul din fig. 4 a.

$$A=U_1/U_2 I_{22=0}=1-2\omega^2 LC \quad (4)$$

Analizăm variația lui A cu frecvența: pentru $\omega=0$, $A=1$; pentru $\omega=\sqrt{2/LC}\,A=0$; pentru $\omega=1/LC\,A=-1$; pentru $A \to -\infty$

Pentru filtrul din fig.4 b.

$$A=U_1/U_2 I_{22}=1-2\omega^2 LC \quad (5)$$

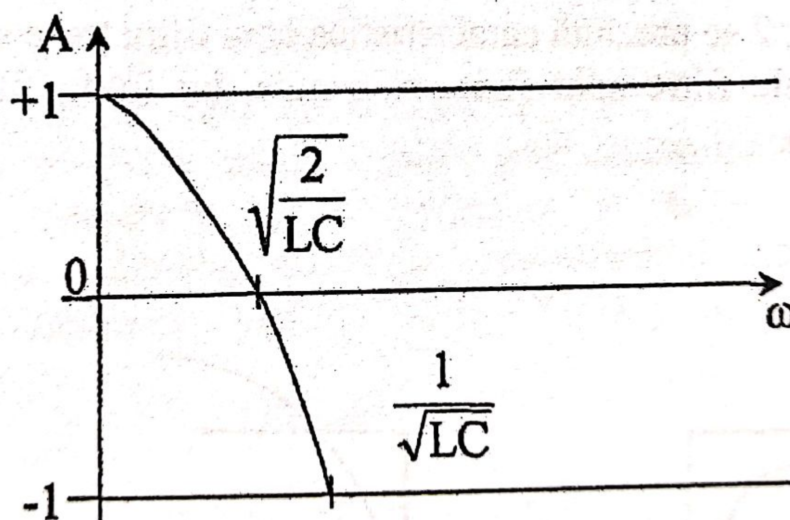


Fig. 5

Variația lui A cu frecvența se prezintă în fig. 5

Zona de frecvență pentru care $-1<A<+1$ corespunde benzii de trecere. Folosim o metodă de calcul a frecvențelor de tăiere măsurând tensiunile la mersul în gol al filtrului.

La mers în gol

$$U_1/U_2A=1-2\omega^2LC \quad (6)$$

Dacă U_1 constant avem $U_2=U_1/1-2\omega^2LC$. Numitorul este un număr real, deci U_1 va fi în faza sau antifază cu U_2; pentru $\omega=2/LCU_2$ îşi schimbă faza cu 180° faţă de U_1.

FILTRE TRECE SUS

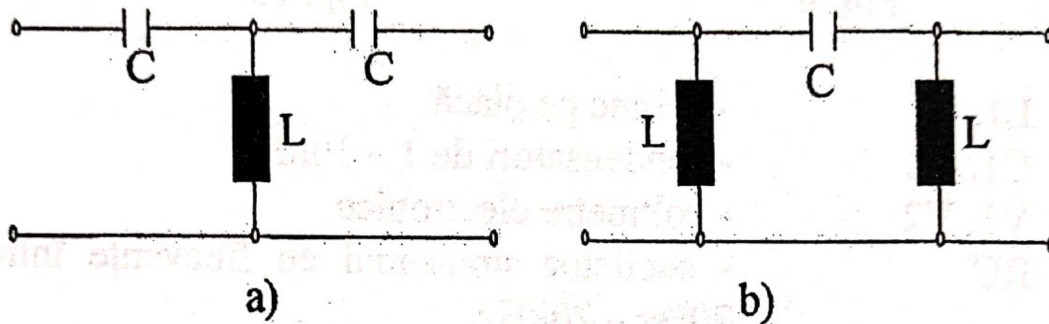


Fig. 6

În fig. 6 se prezintă două tipuri de filtre trece sus

Parametru $A=1-1/2\omega^2LC$, tensiunea de ieşire este defazată cu π în urma tensiunii de intrare.

2. *Chestiuni de studiat*

Determinarea frecvenţelor de tăiere pentru tensiuni

a) Filtre trece sus, schema în π şi în t

b) Filtre trece jos, schema în π şi în t

3. *Scheme experimentale şi aparate de măsură utilizate*

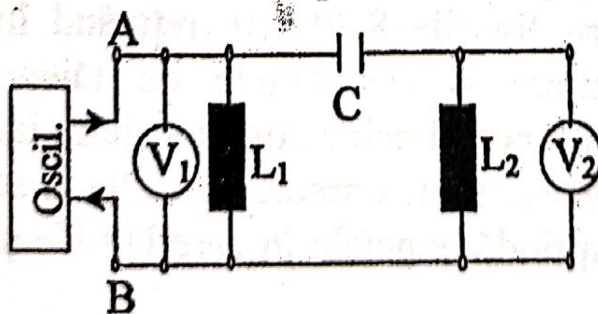


Fig. 7

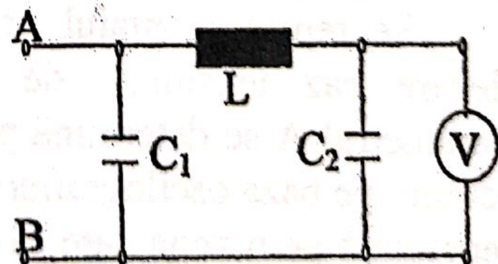


Fig. 8

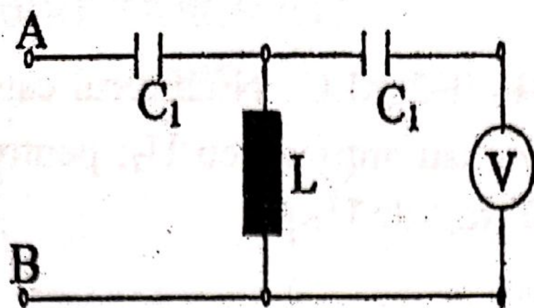


Fig. 9

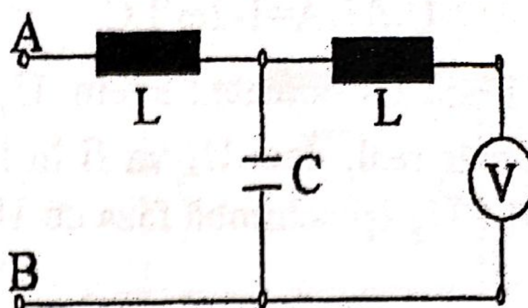


Fig. 10

L1, L2	- bobine pe placă
C1, C2	- condensatori de 1 – 10nF
V1, V2	- voltmetre electronice
RC	- oscilator sinusoidal cu frecvențe între 20Hz – 20kHz

4. *Modul de lucru*

Se realizează un filtru trece sus ca în figura 7 şi se alimentează cu oscilatorul. Cu ajutorul a două voltmetre se măsoară tensiunile la intrare şi la ieşire. Se modifică frecvența de lucru de la 20Hz la 20kHz, la o tensiune de 3V la intrare. Tensiunea la ieşire va fi, pentru filtrul trece sus, nulă pentru frecvenţe joase, creşte apoi şi devine la un moment dat egală cu tensiunea de intrare. Se observă că cele două tensiuni sunt în opoziţie de fază. Se creşte frecvența până se ajunge la valoarea maximă a tensiunii de ieşire. Se notează frecvența şi ea corespunde pulsaţiei pentru care A(ω) intersectează axa absciselor.

Se repetă montajul pentru figurile 8, 9, 10, reținând în fiecare caz tensiunile de intrare şi frecvenţele de tăiere. Parametrul A se determină prin raportul celor două tensiuni, iar semnul pe baza oscilografierii tensiunilor. Caracteristica lui A se reprezintă pe o zonă care să cuprindă punctele în care Ui=Ue şi în care devine maximă.

5. *Tabel de date şi rezultate*

Nr. Crt.	F [Hz]	U1 [V]	U2 [V]	$A=\frac{U_1}{U_2}$	semn A
1.					
2.					
3.					

Lucrarea nr. 17

STUDIUL CIRCUITELOR NELINIARE DE CURENT ALTERNATIV REALIZATE CU BOBINĂ CI MIEZ DE FIER

- *Chestiuni teoretice*

Principalele elemente neliniare ale circuitelor de frecvență industrială sunt bobinele cu miez feromagnetic, respectiv înfăşurările circuitelor magnetice ale transformatoarelor şi maşinilor electrice. În aceste bobine, în afară de efectele deformante, determinate de neliniarități, au loc şi pierderi de putere suplimentare, localizate în miezul feromagnetului şi numite pierderi în fier.

Dacă înfăşurarea unei bobine cu miez toroidal se conectează la o tensiune sinusoidală:

$$u=U_m \sin\omega t \tag{1}$$

atunci, în cazul în care spirele sale sunt uniform distribuite pe suprafața miezului, se poate admite că fluxul de dispersie este practic nul şi deci este valabilă ecuația:

$$u=Ri+\frac{d\Phi}{dt} \tag{2}$$

Deoarece $\Phi=Li$, putem scrie:

$$u=Ri+\frac{d(Li)}{dt} \tag{3}$$

unde s-a ținut cont că, în cazul circuitelor neliniare, L nu este constant şi depinde de valoarea curentului care străbate bobina.

Bobina cu miez toroidal, variația lui Φ şi a lui L în funcție de curentul i, se pot vedea în figura 1.

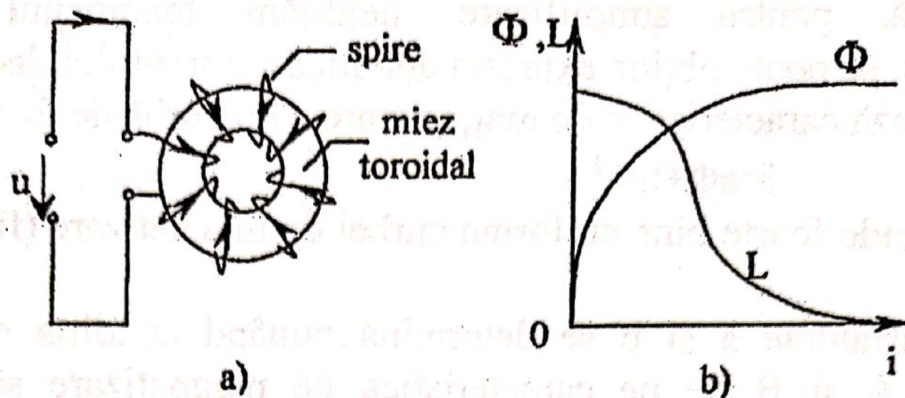


Fig. 1

Dacă putem considera rezistența bobinei, R, foarte mică, atunci relația (2) poate fi scrisă:

$$u=\frac{d\Phi}{dt} \tag{4}$$

de unde: $\Phi=\int Udt=\int U_m \sin\omega t=-\frac{U_m}{\omega}\cos\omega t$.

Dacă notăm: $\Phi_m=\frac{U_m}{\omega}$ și scriem: $-\cos\omega t=\sin\left(\omega t-\frac{\pi}{2}\right)$, atunci rezultă:

$$\Phi=\Phi_m \sin\left(\omega t-\frac{\pi}{2}\right) \tag{5}$$

Se vede că, în limitele aproximațiilor făcute, fluxul magnetic produs de o tensiune sinusoidală este tot sinusoidal.

Problema centrală a studiului bobinelor cu miez de fier este rezolvarea sistemului de ecuații de mai jos:

$$\begin{cases} u=Ri+\frac{d\Phi}{dt} \\ \Phi=\Phi(i) \end{cases} \tag{6}$$

în care a doua ecuație reprezintă caracteristica flux-curent a bobinei. Această caracteristică este neliniară, de unde rezultă că intensitatea curentului absorbit de bobina cu miez de fier are o variație nesinusoidală în timp, chiar dacă tensiunea aplicată la borne este sinusoidală.

Dacă, pentru simplificare, neglijăm fenomenul de hysterezis, se poate obține expresia analitică a curentului dacă se aproximează caracteristica de magnetizare cu o curbă de forma:

$$i=a\Phi+b\Phi^5 \tag{7}$$

care coincide foarte bine cu forma curbei de magnetizare (figura 2).

Constantele a şi b se determină punând condiția ca în punctele A şi B de pe caracteristica de magnetizare să fie verificată expresia analitică a curentului. Punctul A se alege înainte de cotul buclei, iar B după el, cât mai aproape de inducția maximă la care se lucrează.

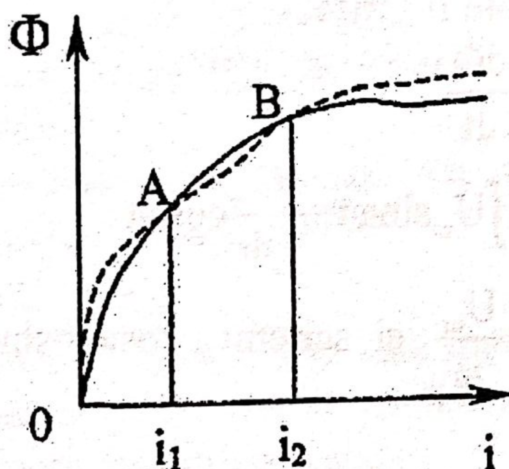


Fig. 2

Putem scrie deci:

$i_1=a\Phi_1+b\Phi_1^5$ şi $i_1=a\Phi_2+b\Phi_2^5$.

Din acest sistem rezultă:

$$a=\frac{i_1\Phi_2^5-i_2\Phi_1^5}{\Phi_1\Phi_2\left(\Phi_2^4-\Phi_1^4\right)} \text{ şi } b=\frac{i_2\Phi_1-i_1\Phi_2}{\Phi_1\Phi_2\left(\Phi_2^4-\Phi_1^4\right)}$$

Expresia analitică a curentului este:

$$i=a\Phi_m\sin\omega t+b\Phi_m^5\sin t^5\omega t$$

$$\text{Dar: } \sin^5\omega t=\frac{1}{16}\left(10\sin\omega t-5\sin3\omega t+\sin5\omega t\right) \tag{8}$$

Înlocuind expresia de mai sus în (8) rezultă:

$$i=\left(a\Phi_m+\frac{5}{8}b\Phi_m^5\right)\sin\omega t-\frac{5}{16}b\Phi_m^5\sin3\omega t+\frac{1}{16}b\Phi_m^5\sin5\omega t \qquad (9)$$

Notăm:

$$I_{m_1}=a\Phi_m+\frac{5}{8}b\Phi_m^5;$$

$$I_{m_3}=\frac{5}{16}b\Phi_m^5;$$

$$I_{m_5}=\frac{1}{16}b\Phi_m^5$$

Cu notațiile de mai sus, (9) devine:

$$I_{m_1}\sin\omega t-I_{m_3}\sin3\omega t+I_{m_5}\sin5\omega t \qquad (10)$$

curba curentului conține trei armonici impare, reprezentate grafic în figura 3.

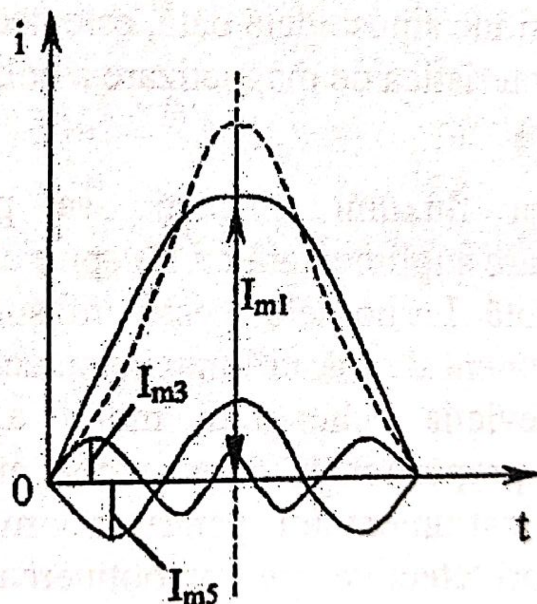


Fig. 3

Valoarea maximă a curentului este:

$$I_m=I_{m_1}+I_{m_3}+I_{m_5} \qquad (11)$$

Valoarea efectivă a curentului este:

$$I=\sqrt{I_1^2+I_2^2+I_3^2} \qquad (12)$$

Valoarea medie se calculează astfel:

$$I_{med}=\frac{2}{T}\int_0^{\frac{\pi}{2}} i dt=\frac{1}{\pi}\left(2I_{m_1}+\frac{2}{3}I_{m_3}+\frac{2}{5}I_{m_5}\right) \quad (13)$$

Cu aceste mărimi se pot calcula parametrii ce caracterizează curba nesinusoidală:

- factorul de formă: $k_f=\frac{I}{I_{med}}$ (14)

- factorul de vârf: $k_v=\frac{I_{max}}{I}$ (15)

- factorul de distorsiune: $k_d=\frac{\sqrt{I_2^2+I_5^2}}{\sqrt{I_1^2+I_2^2+I_5^2}}$ (16)

Din relația (9) se observă că pentru a putea determina expresia analitică a curentului la o bobină cu miez de fier conectată la o tensiune sinusoidală dată, este necesar să se ridice experimental caracteristica de magnetizare a bobinei:

$$\Phi_m=f\left(I_m\right) \quad (17)$$

Amplitudinea fluxului magnetic se poate determina folosind o înfășurare suplimentară cu N_2 spire dispusă pe același miez cu bobina dată. La bornele acestei înfășurări suplimentare se leagă un instrument de măsură magnetoelectric cu dispozitiv de redresare. Deviația echipajului mobil a unui astfel de instrument este proporțională cu valoarea medie a tensiunii. Deoarece scala instrumentului pentru regim sinusoidal este etalonată cu valori efective, pentru obținerea valorii medii a tensiunii se împarte indicația aparatului de măsură cu factorul de formă sinusoidală k_f=1,1.

Presupunem o variație sinusoidală a tensiunii de alimentare și a fluxului bobinei (fig. 4).

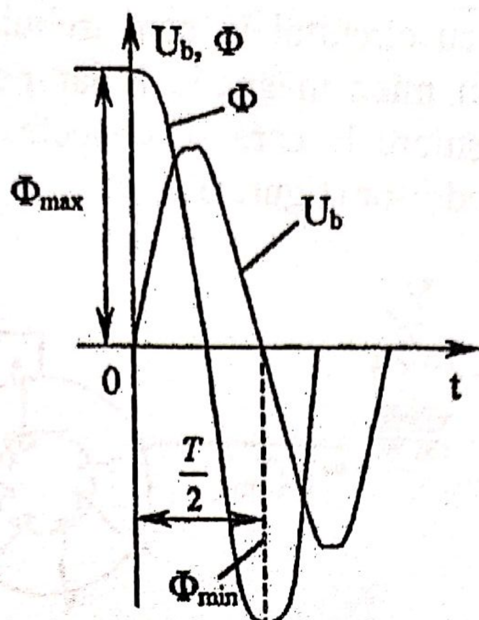


Fig. 4

Plecând de la definiția valorii medii a unei mărimi sinusoidale, obținem în cazul tensiunii u_b:

$$u_{bmed}=\frac{2}{T}\int_0^{\frac{\pi}{2}}u_b dt=2f\int_0^{\frac{\pi}{2}}\left(-N_2\frac{d\Phi}{dt}\right)dt=2fN_2\int_0^{\frac{\pi}{2}}d\Phi=2fN_2\left(\Phi_{max}-\Phi_{min}\right).$$

Unde Φ_{max} și Φ_{min} au semnificația din figura 4. Din această figură se observă că $\Phi_{max}=-\Phi_{min}$.

Putem scrie deci: $U_{bmed}=4\Phi_{max}fN_2$

De aici: $$\Phi_{max}=\frac{U_{med}}{4fN_2} \qquad (18)$$

Fie u_v indicația voltmetrului conectat la bornele bobinei cu miez de fier. Conform unor considerații anterioare: $U_{bmed}=\frac{U_v}{1,1}$, și deci

$$\Phi_{max}=\frac{U_v}{4,4fN_2} \qquad (19)$$

Pentru măsurarea valorii maxime a curentului I_m este necesar un montaj special întrucât nu există ampermetre speciale la care deviația acului să fie proporțională cu amplitudinea

curentului. În serie cu circuitul în care trebuie măsurat I_m se leagă şi o bobină cu miez magnetic liniar peste care se mai dispune încă o înfăşurare la care se conectează un voltmetru magnetoelectric cu redresor (figura 5).

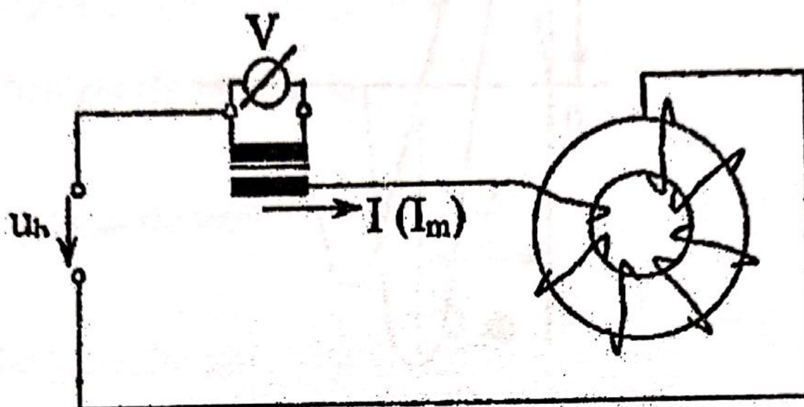


Fig. 5

Notăm:

- Φ'_m - fluxul maxim al bobinei auxiliare;
- Rm - reluctanţa circuitului magnetic al acestei bobine;
- N' - numărul de spire al înfăşurării auxiliare.

Se poate scrie: $\Phi'_m R_m = I_m N'$ şi deci $\Phi'_m = \dfrac{I_m N'}{R_m}$

Reluctanţa circuitului magnetic fiind constantă rezultă:

$$\Phi'_m = C I_m \tag{20}$$

Deoarece indicaţia voltmetrului este proporţională cu Φ'_m rezultă că este proporţională şi cu I_m:

$$I_m = kU' \tag{21}$$

Constanta k se poate determina experimental conectând bobina într-un circuit în care curentul este sinusoidal. Cu un ampermetru se măsoară valoarea efectivă a curentului I şi apoi $I_m = \sqrt{2} I$.

Din raportul $\dfrac{I_m}{U'}$ unde U' este măsurat cu un voltmetru rezultă k.

2. *Chestiuni de studiat*

a. Ridicarea curbei $\Phi_m = f(I_m)$.

b. Calculul lui: I, I_m, I_{med}, k_f, k_v, k_d.

c. Verificarea experimentală a valorilor calculate la punctul b.

d. Oscilografierea curbei curentului.

3. *Scheme experimentale şi aparate de măsură utilizate*

Schemele de montaj necesare sunt prezentate în fig. 6 (a) şi (b).

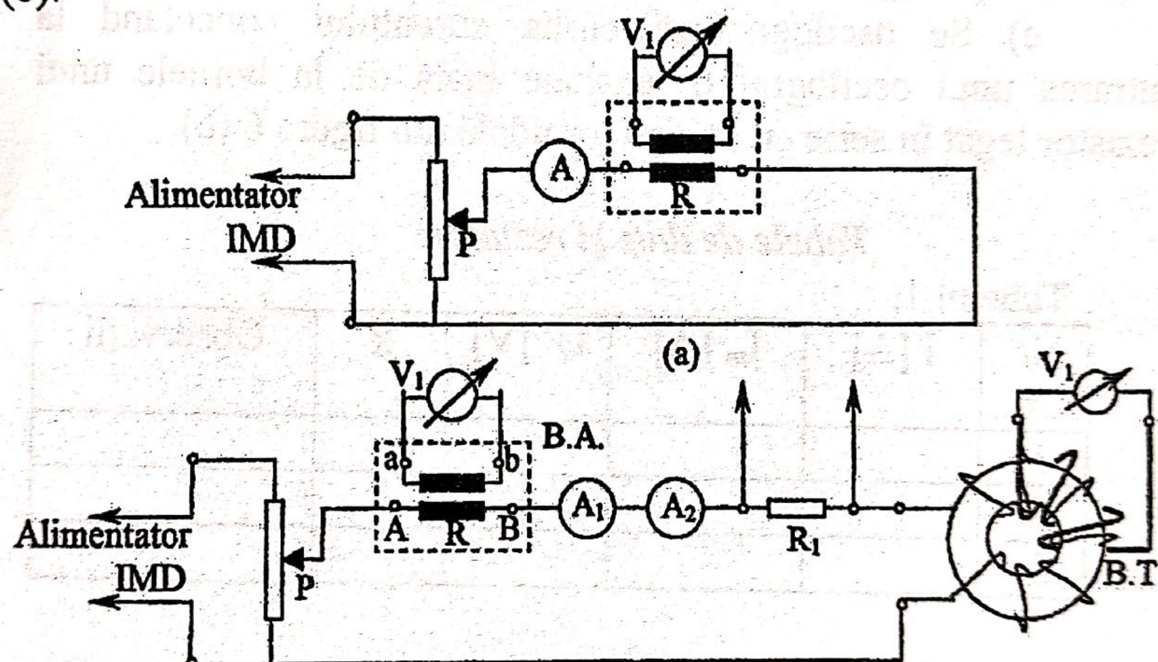


Fig. 6

P	- potenţiometru;
V_1	- voltmetru tip MAVO 35 (UNITRA);
V_2	- voltmetru tip MAVO 35 (UNITRA);
BA	- bobine auxiliare;
BT	- bobină toroidală;
R_1	- reostat 200Ω, 0,65A;
N_2	- înfăşurarea 3,4 cu 65 spire.

4. *Modul de lucru*

a) Se determină constanta k cu montajul din figura 1.a. Aici R este chiar rezistenţa ohmică a înfăşurării înseriate cu ampermetrul. Se alcătuieşte tabelul 1.

b) Se ridică curba $\Phi_{max} = f(I_{max})$ cu montajul din figura 6 (b), întocmindu-se tabelul 2.

c) Se calculează I, I_m, I_{med}, k_f, k_d.

d) Se verifică experimental I_{med} şi I. Pentru a măsura pe I se conectează un ampermetru electromagnetic, iar pentru a determina pe I_{med} unul electromagnetic cu redresor.

e) Se oscilografiază curba curentului conectând la intrarea unui oscilograf o tensiune luată de la bornele unui rezistor legat în serie cu bobina toroidală din figura 6 (b).

- *Tabele de date şi rezultate*

Tabelul 1.

Nr. Crt.	I [A]	I_m [A]	U′ [V]	k	Observaţii
1.					
2.					
3.					

Tabelul 2.

Nr Crt	N_2	f [Hz]	Ui [V]	$U_{bmed} = \frac{U_2}{1,1}$ [V]	$I_m = kU_1$ [A]	$I_{med} = \frac{I_{A1}}{1,1}$ [A]	Φ_{max} [Wb]	I [A]	$k_f = \frac{I_m}{I}$	$k_v = \frac{I_m}{I}$	$k_d = \sqrt{\frac{I - I^2}{I - I_0^2}}$
1.											
2.											
3.											

Observaţii:

- În tabelul 2 calculul lui k_d presupune calculul lui I1. Aceasta se face ca mai jos:

$$I_1 = \frac{I_{m1}}{\sqrt{2}} = \frac{a\Phi_m + \frac{5b}{8}\Phi_m^5}{\sqrt{2}}$$

Constantele a şi b se determină conform indicaţiilor din breviarul teoretic al lucrării.

- De la I=0,4A se introduce R_1 prin cursor având valoarea

$r = 0{,}1 R_{max}$

Bibliografie

1. Ţîrcă, A. Bazele electrotehnicii. Îndrumar de laborator. Reprografia Universităţii „Constantin Brâncuşi", Târgu jiu, 1993
2. Ţîrcă, A., ş.a. Electrotehnică şi maşini electrice. Lucrări de laborator. Editura „AGER", Târgu Jiu, 1998
3. Cozma, V., Popescu, C. Transfoirmatorul electric – teorie şi aplicaţii, Editura SITECH, Craiova, 2005, ISBN 973-657-882-8
4. Cozma, V., Popescu, C. Maşini electrice, Editura SITECH, Craiova, 2005, ISBN 973-657-938-7
5. Cozma, V. ş.a. Electrotehnică şi maşini electrice, Ed. Academica Brâncuşi, Târgu Jiu, 2002
6. Nicola, D., ş.a. Electrotehnică şi maşini electrice. Lucrări de laborator. Reprografia Universităţii din Craiova, 1995.
7. Moraru, A., ş.a. Electrotehnică, măsurări şi maşini electrice. Îndrumar de laborator. Reprografia institutului Politehnic Bucureşti, 1981.
8. Puşcaşu, S., ş.a. Bazele electrotehnicii. Lucrări de laborator. Reprografia Universităţii din Craiova, 1972.
9. Amuzescu, A., s.a. Îndrumar de electrotehnică. Laborator. Seminar. Editura Psitech, Bucureşti, 2000.
10. Ambrosie, C., ş.a. Măsurări electrice şi traductoare. Îndrumar de laborator.

Reprografia Universităţii din Craiova, 1979.
11. Timotin, A, ş.a. Lecţii de bazele electrotehnicii. Editura didactică şi pedagogică, Bucureşti, 1970.
12. Mocanu, I. C. Teoria circuitelor electrice. Editura didactică şi pedagogică, Bucureşti, 1979.
13. Antoniu, S. I. Bazele electrotehnicii, vol. I şi II, Editura didactică şi pedagogică, Bucureşti, 1974.
14. Ţîrcă, A. Electrotehnică, măsurări şi maşini electrice. Reprografia Universităţii „Constantin Brâncuşi”, Târgu Jiu, 1993.
15. Ţîrcă, A. Electrotehnică şi maşini electrice. Editura ;;AGER”, Târgu Jiu, 1999.
16. Ţîrcă, A., Cozma V. Electrotehnică. Lucrări de laborator. Editura „AGER”, Târgu Jiu, 2001.